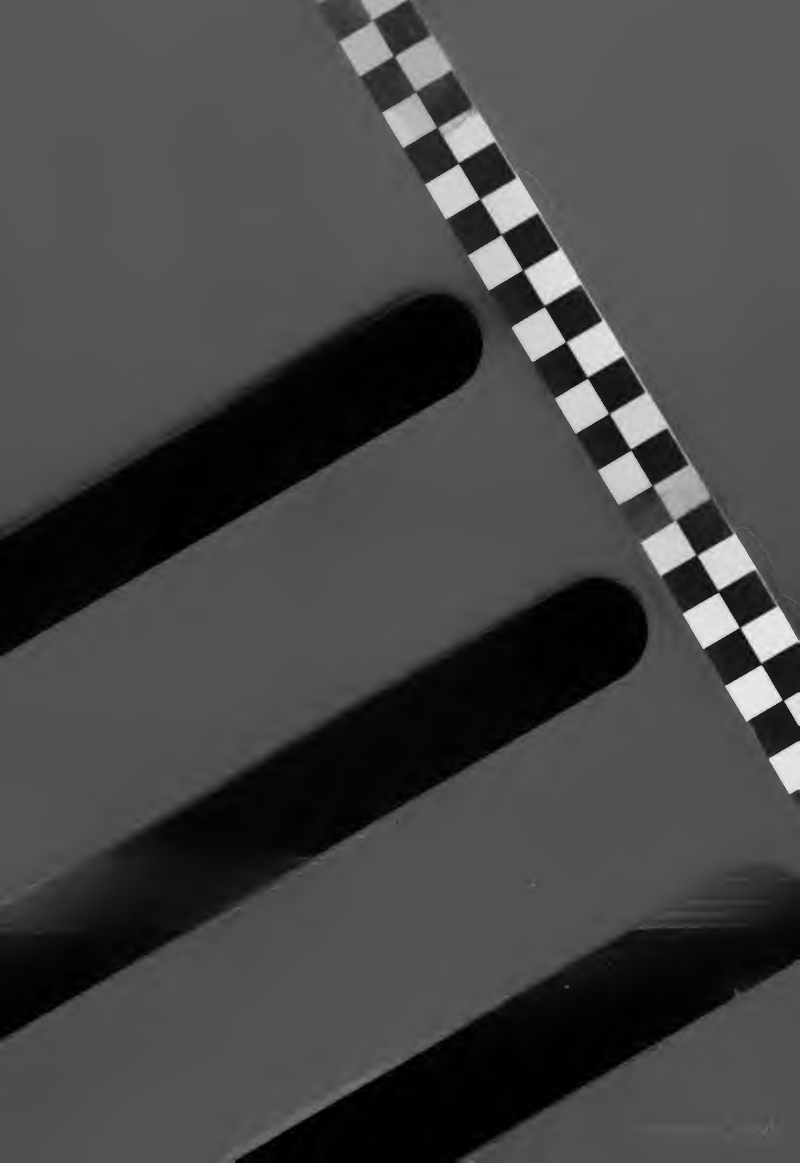
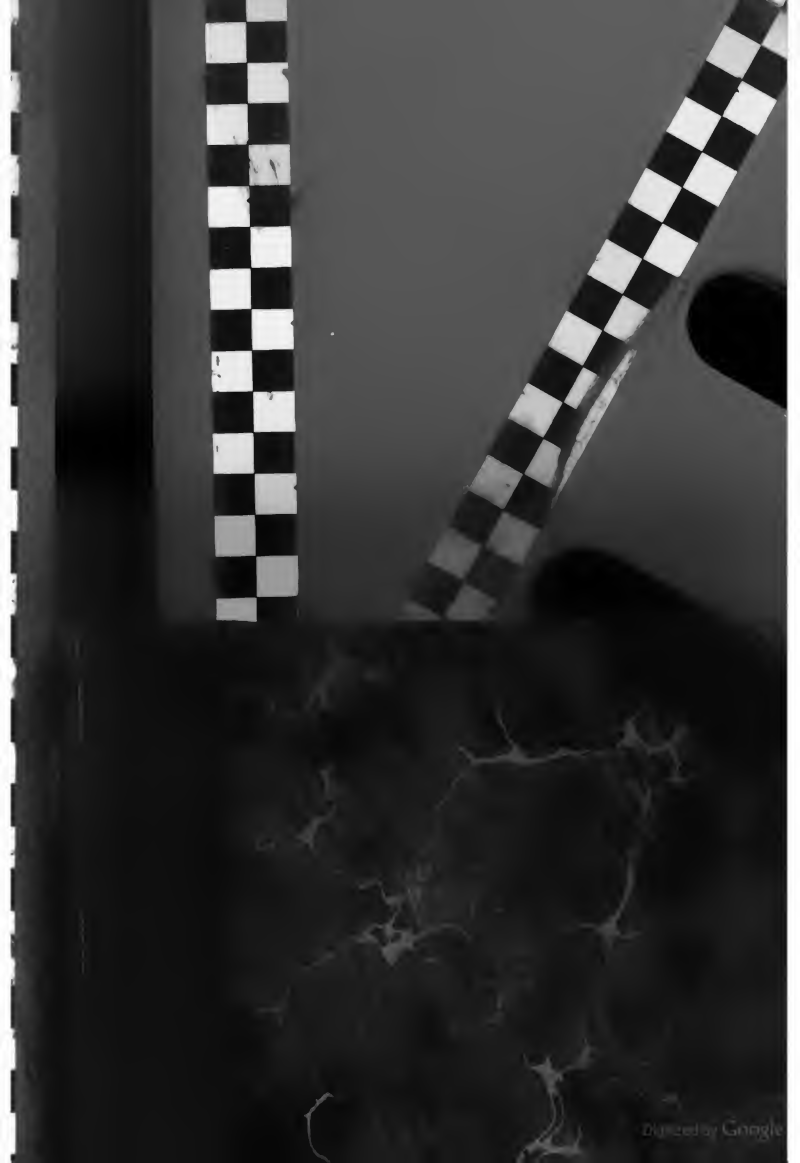












ARCHIV FÜR HYGIENE.

(BEGRÜNDET VON **MAX v. PETTENKOFER.**)

UNTER MITWIRKUNG

VON

Prof. Dr. O. BOLLINGER, München; Prof. Dr. BONHOFF, Marburg a. L.; Prof. Dr. R. EMMERICH, München; Prof. Dr. F. ERISMANN, Zürich; Prof. Dr. HEIM, Erlangen; Prof. Dr. F. HUEPPE, Prag; Prof. Dr. KABRHEL, Prag; Prof. Dr. F. KRATSCHMER, Wien; Prof. Dr. K. LEHMANN, Würzburg; Prof. Dr. A. LODE, Innsbruck; Prof. Dr. L. PFEIFFER, Rostock; Prof. Dr. W. PRAUSNITZ, Graz; Prof. Dr. F. RENK, Dresden; Prof. Dr. SCHOTTELIUS, Freiburg i. B.; Generaloberarzt Dr. A. SCHUSTER, München; Prof. Dr. WERNICKE, Posen.

HERAUSGEGEBEN

VON

J. FORSTER, M. GRUBER, FR. HOFMANN, M. RUBNER,

O. Ö. PROFESSOREN DER HYGIENE UND DIREKTOREN DER HYGIENISCHEN INSTITUTE AN DEN UNIVERSITÄTEN ZU

STRASSBURG MÜNCHEN LEIPZIG BERLIN.

SIEBENUNDFÜNFZIGSTER BAND.

Mit 40 Abbildungen und 3 Tafeln.



MÜNCHEN UND BERLIN.

DRUCK UND VERLAG VON R. OLDENBOURG.

1906.

Inhalt.

Bakteriologische Untersuchungen mit der Stuttgarter Markt- und Handelsbutter.

Von

Adolf Reitz,

Assistent an der bakteriologischen Untersuchungsstation der Stadt Stuttgart.

(Aus der bakteriologischen Untersuchungsstation der Stadt Stuttgart.
Vorstand: Stadtarzt Dr. Gastpar.)

Die vielen Untersuchungen, betreffend die Identität bzw. Verschiedenheit der Perlsucht und der menschlichen Tuberkulose, die seit dem bekannten Vortrage Kochs auf dem Londoner Tuberkulosekongreſs angestellt wurden, haben noch zu keinem endgültigen Resultate geführt. Immerhin darf es jetzt als sicher gelten, daſs Koch mit seinen Folgerungen den notwendigsten Untersuchungen vorausgeeilt war, eine Ansicht, die schon den damaligen Tuberkulosekongreſs im Gegensatz zu Koch zu der Resolution veranlaſste, daſs »die sanitären Behörden alle ihnen zustehende Macht daran anwenden und keine Anstrengungen unterlassen sollten, um die Verbreitung der Tuberkulose durch Fleisch und Milch zu verhindern«.

Die Untersuchung der Milch und ihrer Produkte auf Tuberkelbazillen lag wie vor den Ausführungen Kochs auch künftighin im Interesse der Städte.

Stadtarzt Dr. Gastpar beauftragte mich zu Anfang des Jahres 1904, die Stuttgarter Markt- und Handelsbutter einer eingehenden Untersuchung auf Tuberkelbazillen zu unterziehen.

Im Laufe der Untersuchungen erweiterte sich diese Aufgabe dahin, die Butter vollständig bakteriologisch zu untersuchen und soweit es angängig war, die Lebensbedingungen der gefundenen Bakterien in der Butter zu studieren.

Um diese Aufgabe zur bestmöglichen Lösung zu bringen, d. h. um den Weg angeben zu können, die etwa vorhandenen Schäden unserer Butter auszuschalten, war es für mich von Interesse, einen Einblick in das württembergische Molkereiwesen zu erlangen, was ich durch eine im Sommer 1904 ausgeführte Studienreise zu erreichen suchte, deren Resultate an anderer Stelle veröffentlicht wurden.[1])

Über die Untersuchungen, die von anderer Seite über den vorliegenden Gegenstand angestellt wurden, wird demnächst in einem ausführlichen Referat[2]) berichtet werden. Hier soll nur die folgende Tabelle zur Übersicht Platz finden:

Jahr der Veröffentlichung	Autor	Ort der Untersuchung	Zahl der untersucht. Proben	Tuberkelbazillenhaltig %	Bemerkungen
1890	Brusaferro	Turin	9	11,1	
1894	Roth	Zürich	20	10,0	
1896	Schuchardt	Marburg	42	0	
1896	Baumgarten	Tübingen	?	0	
1897	Obermüller	Berlin	14	100 %	
1897	Gröning	Hamburg	17	47,0	
1897	Himesch	Wien	?	0	Erwähnt bei Markl u. Grafsberger
1897	Rabinowitsch	Berlin	30	0	
		Philadelphia	50	0	
1897	Petri	Berlin	102	32,3	Davon entfallen auf: Berlin 86 Proben mit 38,4 %, auf:
1897	Hormann & Morgenroth	Berlin	10	30,0	München 16 Proben m. 0 %
1899	Rabinowitsch	Berlin	15	13,3	1. Versuchsreihe.
		aus ders. Quelle	?	87,5	2. Versuchsreihe.
		aus ders. Quelle	?	100	3. Versuchsreihe.
			19	0	4. Versuchsreihe.

1) Zeitschr. f. Fleisch- u. Milchhygiene, 15. Jahrg., 1905, Nr. 6/8.

2) Zentralbl. f. Bakteriol. 1906.

Jahr der Veröffentlichung	Autor	Ort der Untersuchung	Zahl der untersucht. Proben	Tuberkelbazillenhaltig %	Bemerkungen
1899	Obermüller	Berlin	10	80,0	
1899	Korn	Freiburg	17	23,5	
1899	Ascher	Königsberg	27	7,4	Eigentlich 9%, da aus 22 Geschäften stammend.
1899	Jäger	Königsberg	6	33,3	
1899	Coggi	Mailand	100	2,0	
1899	Weifsenfeld	Bonn	32	9,4	
1899	Grafsberger	Wien	10	0	
1899	Herbert	Tübingen	43	0	1. Versuchsreihe. Proben vom Tübinger Markt.
			58	0	2. Versuchsreihe. Prob. aus allen Teilen Württembergs.
			20	0	3. Versuchsreihe. Prob. von Berlin.
			5	0	4. Versuchsreihe. Proben von München.
1900	Abenhausen	Marburg	39	0	
1900	Hellström	Helsingfors	9	16,7	
1900	Pawlowsky	Kiew	23	4,34	
1901	Tobler	Zürich	12	16,67	Die Tb-haltigen entstammen einer Bezugsquelle.
1901	Lorenz	Dorpat	30	0	
1901	Markl	Wien	43	0	
1901	Herr & Beninde	Breslau	52	11,1	
1902	Aujeszky	Budapest	17	17,6	
1904	Teichert	Posen	40	30,55	

Aufser der Produktionsstelle, die ohne Zweifel am meisten zur hygienischen Vervollkommnung der Butter beitragen wird, wollte ich mich bei meinen Butteruntersuchungen auch über den Zustand der hiesigen Verkaufsstellen informieren. Zu diesem Zwecke kaufte ich die Butterproben persönlich ein.

Wenn sich im allgemeinen über die Verhältnisse der hiesigen Verkaufsstellen, die sich neben den Markthändlerinnen in der Hauptsache aus Kolonial- und Spezereiwarenhandlungen rekru-

tieren, nichts Nachteiliges sagen läfst, so wurden doch einzelne Läden in einem nichts weniger als wünschenswerten Zustand betroffen.

Dafs die Nahrungsmittel, in vorliegendem Fall die Butter, durch Berührung mit den Händen einer schwindsüchtigen Verkaufsperson infiziert werden können, liegt auf der Hand, und es ist, wenn man sich auch auf den Standpunkt Kochs stellt, zu erwägen, ob es sich bei den Tuberkelbazillenfunden in der Butter (namentlich bei negativen Kulturversuchen) in allen Fällen um Rindertuberkelbazillen handelt, ob die Butter nicht auch die Erreger der menschlichen Schwindsucht enthalten konnte.

Beim Einkauf suchte ich durch Fragen an die Verkäufer Angaben zu erhalten über die Molkerei, deren Namen gewöhnlich auf die Butter geprefst ist, aufserdem über das Alter der Butter, d. h. wann letztere hergestellt worden war und seit wann sie dem Verkauf ausgesetzt ist.

Die Butter wurde nach Geruch, Geschmack und Aussehen geprüft. Die chemische Untersuchung erstreckte sich auf die Bestimmung des Säuregrads und auf die Ermittelung etwa vorhandener Farbstoffe und Konservierungsmittel.. Von einer quantitativen Bestimmung des Chlornatriums wurde abgesehen, weil die Stuttgarter Butter ungesalzen ist.[1])

---

1) Bei der Bestimmung des Säuregrads und der Konservierungsmittel hielt ich mich an die amtliche Anweisung zur chemischen Untersuchung von Fetten und Käsen vom 1. April 1898.

a) Bestimmung der freien Fettsäuren (des Säuregrads): »5—10 g Butterfett werden in 30—40 ccm einer säurefreien Mischung gleicher Raumteile Alkohol und Äther gelöst und unter Verwendung von Phenolphthaleïn (in einprozentiger alkoholischer Lösung) als Indikator mit $^1/_{10}$ Normalalkalilauge titriert«.

Der Säuregrad der frischen Butterproben schwankte zwischen 2° und 4°.

Im allgemeinen wies die Algäuer Butter einen höheren Säuregrad auf als die Butter aus den anderen Gegenden Württembergs, was mit der gewöhnlich 48 Stunden dauernden Selbstsäurungsmethode des Rahms in den Algäuer Sennereien zusammenhängt.

Von den Konservierungsmitteln wurde auf Borsäure und Salizylsäure geprüft:

a) Borsäure: »10 g Butter werden mit alkoholischem Kali in einer Platinschale verseift, die Seifenlösung eingedampft und verascht. Die Asche

Zur Untersuchung auf Farbstoffe wurde das klar filtrierte Butterfett mit einer Mischung von 15 Teilen Methylalkohol und 2 Teilen Schwefelkohlenstoff geschüttelt. Der Schwefelkohlenstoff löst das Fett auf, während durch den Methylalkohol etwa vorhandene Farbstoffe extrahiert werden und sich durch ihre Farbe zu erkennen geben.

Es konnten in keiner der untersuchten 109 Butterproben (auf Tb. wurden 100 Butterproben untersucht) künstliche Farbstoffe oder Konservierungsmittel gefunden werden.

Die bakteriologische Untersuchung, soweit sie zum Auffinden der Tb. diente, wurde folgendermafsen ausgeführt:

Jede Butterprobe (gewöhnlich wurden 250 g gekauft) wurde im Wasserbad bei einer Temperatur von 35—40° in einer vorher mit Sublimat und nachher mit sterilem Wasser ausgewaschenen Porzellanschale geschmolzen. Die Butter wurde mit sterilem Glasstab gleichmäfsig verrührt. Von der so gewonnenen Lösung wurden 4 im Heifsluftsterilisator sterilisierte Zentrifugengläschen gefüllt, die in eine mit elektrischer Kraft angetriebene Zentrifuge (4500—5500 Umdrehungen in der Minute) eingesetzt wurden. Da die geschmolzene Butter sich sehr leicht wieder verfestigte, wurden die Butterlösungen durch öfteres (gewöhnlich 7–10maliges) Eintauchen der Zentrifugengläschen in warmes Wasser auf einer Temperatur von 37° gehalten. Das Zentrifugieren währte 10 Minuten. (Dafs die relative Konzentration der freien Fettsäuren in der wässerigen Schicht, welche die Tb. beim Zentrifugieren zu durchgehen haben, einen Einflufs auf die Lebensfähigkeit der Tb. ausübt, halte ich für unwahrscheinlich.)

---

wird mit Salzsäure übersättigt. In die salzsaure Lösung taucht man einen Streifen gelben Kurkumapapiers und trocknet das Papier auf einem Uhrglas bei 100° C. Bei Gegenwart von Borsäure zeigt die eingetauchte Stelle des Kurkumapapiers eine rote Färbung, die durch Auftragen eines Tropfens verdünnter Natriumkarbonatlösung in Blau übergeht«.

b) Salizylsäure: »Man mischt in einem Probierröhrchen 4 ccm Alkohol von 20 Vol.-% mit 2—3 Tropfen einer verdünnten Eisenchloridlösung, fügt 2 ccm Butterfett hinzu und mischt die Flüssigkeiten, indem man das mit dem Daumen verschlossene Probierröhrchen 40—50 mal umschüttelt. Bei Gegenwart von Salizylsäure färbt sich die untere Schicht violett«.

Der mit den nötigen Kautelen vom Fett befreite Bodensatz wurde teilweise auf Hesse-Agarnährboden (4 Platten) ausgestrichen, aufserdem wurden mit dem Bodensatz mehrere Aufstrichpräparate nach Ziehl-Neelson gefärbt. Alle verdächtigen Kulturen sollten auf ihre Säure- und Alkoholfestigkeit geprüft werden. Säurefeste Stäbchen sollten isoliert und auf Glyzerinagar, Hammelblutserum, Hesse-Agar und Hoffmannschen Glyzerinkartoffeln weiter gezüchtet werden.

Mit 5 Proben wurde auch die Spenglersche Formalinmethode angewandt. Da dieses Verfahren jedoch in allen 5 Proben negativ ausgefallen war und die angestellten Versuche mit Tb-haltigem Sputum ebenfalls negative Erfolge aufwiesen, wurde von einer dauernden Anwendung dieser Methode abgesehen.

Mit dem fettfreien Bodensatz jeder Butterprobe wurden Tierversuche angestellt.

Da zu Anfang der Untersuchungen ein Mangel an Meerschweinchen bestand, der aber später durch geeignete Züchtung der Versuchstiere gehoben wurde, wurden mit 43 Proben je nur ein Meerschweinchen geimpft.

Der Injektionsmodus war folgender:

Der Bodensatz wurde in Mengen von $1^1/_2$—2 ccm in eine vor der Benutzung mit Lysol behandelte und mit sterilem Wasser ausgewaschene und ausgekochte Injektionsspritze eingefüllt. Die Haut der Versuchstiere wurde an der Injektionsstelle eingeseift, durch Rasieren vom Haar befreit und mit Sublimatwasser und Alkohol abs. gewaschen. Die Kanüle der Spritze wurde vorsichtig in die Bauchhöhle des Tieres eingeführt und die Stichwunde mit etwas Kollodium geschlossen.

Zur Zeit, wo mir mehr Versuchstiere zur Verfügung standen, erschienen die Resultate der Untersuchungen von Ostertag, Breidert, Käsewurm und Krautstrunk. Diese hatten sich zu ihrer Milchuntersuchung nach Prüfung des intraperitonealen Verfahrens für einen Injektionsmodus entschieden, der grofse Vorteile gegenüber dem ersteren besitze. Sie impften 1 ccm in die Muskulatur der inneren und hinteren Fläche des Hinterschenkels. Nach ihrer Meinung ist dieses Verfahren ebenso sicher

wie das intraperitoneale, biete aber den grofsen Vorteil dar, dafs die Entscheidung, ob Tuberkulose vorliegt oder nicht, viel bälder, manchmal schon nach 10 Tagen gefällt werden könne. Sobald die der Impfstelle zunächst liegenden Lymphdrüsen sich als derbe, feste, schmerzlose, von der Umgebung scharf abgegrenzte Knoten von Kleinerbsengröfse und darüber hervortreten, könnten die Tiere seziert werden. Wenn der Nachweis von säurefesten Stäbchen in den Lymphdrüsen oder anderen Organen gelänge, läge Tuberkulose vor. Die Pseudotuberkelbazillen sollen nach Ansicht dieser Forscher keinerlei Veränderungen nach der ebenerwähnten Richtung hervorrufen, aufserdem gewähre diese Impfmethode noch den weiteren Vorteil, dafs interkurrente Todesfälle, wie sie nach der intraperitonealen Impfung (Peritonitis) so häufig sind, sehr selten seien.

Es lag der Gedanke nahe, diese Impfmethode auch auf die Butteruntersuchung anzuwenden und sie eventuell neben dem Verfahren von Herr und Beninde, der Impfung von verdächtigen Organstückchen in die vordere Augenkammer von Kaninchen zur Differentialdiagnose von Pseudotuberkelbazillen und Tuberkelbazillen anzuwenden. Wir hätten in diesem Verfahren eine Methode, um die akuter verlaufende Pseudotuberkulose auszuschalten, also namentlich da vom gröfsten Vorteil, wo es sich um eine Mischinfektion von Pseudotb. und Tb. handelt.

Um dieses neue Verfahren auf seine Anwendbarkeit für die Butteruntersuchung zu prüfen, wurde Bodensatz eines homogenisierten und zentrifugierten tb.-haltigen Sputums einer verflüssigten Butterprobe beigemischt. Die auf diese Weise mit lebenden Tb. infizierte Butter wurde in der gebräuchlichen Weise 10′ lang zentrifugiert. Bei der mikroskopischen Untersuchung des fettfreien Bodensatzes, der in der Menge von 1,5 ccm einem Meerschweinchen nach der Ostertagschen Methode injiziert wurde, liefsen sich von 6 angefertigten Ausstrichpräparaten nur in einem sehr wenig säurefeste Stäbchen erkennen.

Nach 14 Tagen war an dem Versuchstier eine deutliche Schwellung der Lymphdrüsen bemerkbar. Das Tier wurde seziert und zeigte makroskopisch aufser der Vergröfserung der Lymph-

drüsen keine pathologischen Veränderungen. Das Lymphdrüsensekret wurde durch Aufstreichen und Färben nach Ziehl-Neelson auf Tb. untersucht, welche in geringer Menge vorhanden waren. Der Kulturversuch der Tb. aus den Drüsen mifslang.

Ein Teilchen der pathologisch entarteten Drüse wurde in sterilem Wasser verrieben, und es wurde von der so gewonnenen Aufschwemmung 1,5 ccm einem Meerschweinchen intraperitoneal injiziert, das nach 8 Wochen bei der Tötung eine allgemeine miliare Tuberkulose aufwies.

Ein zweites Tier wurde mit 1,5 ccm des Bodensatzes der künstlich infizierten Butter intraperitoneal geimpft, ging aber nach 4 Tagen an Streptokokkenperitonitis ein.

Von der Anstellung weiterer Vorversuche mit künstlich infizierter Butter wurde abgesehen, da bei der Untersuchung von 27 Butterproben je 2 Versuchstiere benutzt wurden, von denen bei dem einen die intraperitoneale Injektion, bei dem andern die Injektion in die Muskulatur der inneren und hinteren Fläche des Hinterschenkels verwendet wurde.

Bei einem Kontrollversuch wurde zur Sicherstellung des Befunds die Injektion eines Stückchens von einem krankhaft veränderten Organ in die vordere Augenkammer eines Kaninchens ausgeführt. Die Methode, die dabei angewandt wurde, war folgende: Nach der Kokainisierung und Luxation des Bulbus mittels Schielhaken wurde eine Falte der Bindehaut mit einer Pinzette gefafst und ein Lanzenmesser eingestochen. Durch die angelegte Wunde wurde mittels Pinzette das Impfmaterial eingeführt.

Bei der subkutanen Überimpfung von Organstücken wurde in die Haut ein kleiner Schnitt gemacht und das Material mittels Pinzette hineingeschoben.

Die Tiere wurden in dickwandigen, 41 cm hohen Gläsern (Durchmesser 40 cm) untergebracht. Die Verwendung von Gläsern erlaubte eine ausgezeichnete Reinhaltung und eine gründliche Desinfektion, die alle 14 Tage durch Auswaschen mit Sublimatlösung (1 : 1000) ausgeführt wurde. Beim Wägen der Tiere, wie beim Reinigen der Gläser wurde durch jedesmaliges Eintauchen der Hände in Sublimatlösung nach der Berührung eines Tieres

eine Übertragung von Infektionsstoffen verhindert. Die Platte an der Wage, auf der die Tiere beim Wägen (die Wägung erfolgte alle 3 Tage) standen, wurde vor jeder Wägung mit einem mit Sublimatlösung befeuchteten Wattestück abgerieben. Der helle, gut lüftbare, Winters heizbare Raum, in dem die Tiere standen, wurde alle 2 Monate mit Formaldehyd (Methode Flügge) desinfiziert.

Die Nahrung der Tiere bestand Winters und Sommers aus Grünfutter, Haber und Schnitzel von Gelbrüben.

Die geimpften Tiere waren gesondert von den gesunden zur Züchtung verwandten Tieren untergebracht. Die Zucht von Meerschweinchen an der hiesigen Untersuchungsstation vergröfserte sich im letzten Jahre bedeutend, so dafs zur Impfung in der Regel schwere, kräftige, gesund aussehende Tiere benutzt werden konnten. Eine spontane Erkrankung an Lungentuberkulose konnte bei den vielen Tieren, die an der hiesigen Untersuchungsstation zu Impfzwecken verwendet worden sind, noch nie konstatiert werden.

Die Sektion der Tiere erfolgte bei den spontan eingegangenen Tieren möglichst bald nach dem Tode, die übrigen Tiere wurden 6—14 Wochen nach der Impfung mit Chloroform getötet. Die nach der Ostertagschen Methode geimpften Tiere wurden getötet, sobald eine Lymphdrüsenschwellung konstatiert werden konnte.

Im nachfolgenden sind die Untersuchungsresultate mit Sektionsprotokollen zusammengestellt.

Meerschweinchen Nr. 11.

Das Tier war mit 2 ccm fettfreiem Bodensatz am 12. VI. 04 intraperitoneal geimpft worden und zeigte nach der Impfung ein bei allen geimpften Tieren auftretendes scheues Wesen. Die Gewichtsabnahme (vgl. Gewichtstabelle) setzt sich beinahe stetig fort. Das Tier sträubte nach 4 Wochen die Haare, zeigte Müdigkeit und nahm nur wenig Nahrung zu sich. Bei der Sektion in der 17. Woche zeigte sich eine typische miliarische Tuberkulose. Im Netz fanden sich zahlreiche Knötchen, die Leber und Lunge war ebenfalls mit solchen reichlich durchsetzt. Die Milz war stark affiziert. Im käsigen Inhalt der Knötchen, die im Netz aufgefunden wurden, liefsen sich mikroskopisch typische Tuberkelbazillen nachweisen. Vom käsigen Inhalt der Knötchen, sowie von einer Aufschwemmung zerdrückter Organteile

wurden auf Hammelblutserumröhrchen, auf Glyzerinagarröhrchen, auf Glyzerinkartoffeln und fünf Heydenagarplatten aufgestrichen. Der Kulturversuch fiel jedoch negativ aus.

Einem Meerschweinchen wurde ein Stückchen der tuberkulös veränderten Milz subkutan verimpft. Bei der Sektion des Versuchstieres nach 9 Wochen konnte eine hochgradige Tuberkulose konstatiert werden.

Mikroskopisch liefs sich zentrale Verkäsung und Entzündung nachweisen.

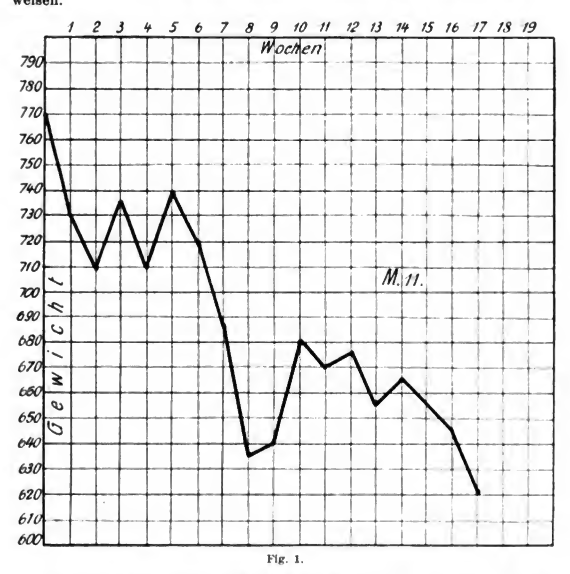


Fig. 1.

Die Butter war in einer hiesigen Spezereihandlung im Zentrum der Stadt eingekauft worden und entstammte einer Genossenschaftsmolkerei der Alb. Die Tiere, die mit einer später eingekauften Probe (Butterprobe 48) geimpft wurden, wurden bei der Sektion als normal befunden.

Meerschweinchen Nr. 29.

Das Tier war mit 2 ccm fettfreiem Bedensatz am 9. VIII. 04 intraperitoneal geimpft worden. Der makroskopische Befund war ähnlich mit dem von Meerschweinchen Nr. 11, nur zeigten sich im Netz weniger zahlreiche

Knötchen. Im eitrig käsigen Inhalt liefsen sich mikroskopisch säurefeste Stäbchen nachweisen. Kulturversuche auf Hesse-Agar, Glyzerinkartoffeln, Blutserum und Glyzerinagar fielen negativ aus. Eine wässerige Aufschwemmung zerdrückter Organteile wurde einem Versuchstier intramuskulär in die innere und hintere Fläche des Hinterschenkels injiziert. Nach 11 Tagen zeigte sich eine Lymphdrüsenschwellung. Bei der Sektion des Tieres liefsen sich in diesen Drüsen säurefeste Stäbchen nachweisen.

Mikroskopisch liefsen sich in den pathologisch entarteten Geweben miliare Knötchen mit Entzündung und zentraler Verkäsung nachweisen.

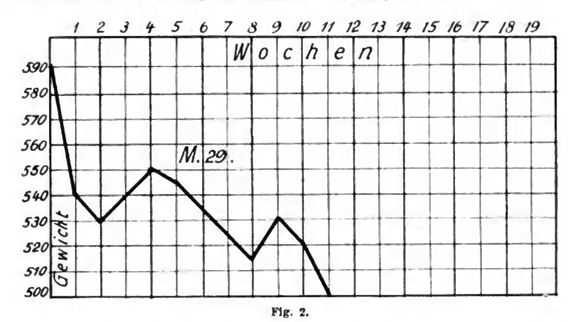


Fig. 2.

Die Butter war in einer Spezereihandlung gekauft worden, die Molkerei war der Händlerin nicht bekannt, da letztere die Butter aus zweiter Hand erhält. Butterprobe 55 entstammt derselben Quelle, wurde aber nicht als infiziert befunden.

Meerschweinchen Nr. 51

war am 3. XI. 04 mit 1,5 ccm fettfreiem Bodensatz in die innere und hintere Fläche vom Hinterschenkel geimpft worden. Nach 17 Tagen zeigte sich eine Lymphdrüsenschwellung. Bei der Sektion liefsen sich in den Drüsen säurefeste Stäbchen nachweisen. Eine Aufschwemmung von Drüsenteilchen intramuskulär einem Meerschweinchen verimpft, rief wiederum eine Drüsenschwellung hervor mit positivem Bakterienbefund in den Drüsen. Die Kulturversuche fielen negativ aus. Eine mikroskopische Untersuchung der Gewebteile wurde nicht vorgenommen.

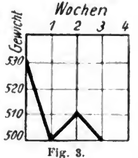


Fig. 3.

Die Butter entstammte einer Genossenschaftsmolkerei der Alb und war bei einer Händlerin auf dem Markte eingekauft worden.

Meerschweinchen Nr. 66 und 67

wurden am 23. XI. 04 mit 1,5 ccm fettfreiem Bodensatze geimpft. Bei dem intramuskulär in die innere und hintere Fläche des Hinterschenkels geimpften Tiere konnte 3 Wochen nach der Impfung eine Lymphdrüsenschwellung konstatiert werden. In den Lymphdrüsen konnten mikroskopisch säurefeste Stäbchen nachgewiesen werden. Das mit derselben Butterprobe intraperitoneal geimpfte Tier nahm an Gewicht ab und zeigte nach 3 Wochen ein krankes Verhalten. Bei der Sektion nach 7 Wochen befanden sich im Netz zwei runde gelbliche Knötchen. Die Lunge und Leber war ebenfalls mit solchen durchsetzt. Die Milz war vergröfsert und enthielt einige verdächtige Herde. In den Knötchen sowie in der Milz liefsen sich mikroskopisch säurefeste Stäbchen nachweisen. Der Kulturversuch auf Glyzerinagar, Glyzerinserum, Glyzerinkartoffeln, Heydenagar fiel negativ aus. Von einer Kontrollimpfung mit Organstückchen wurde im vorliegenden Fall abgesehen, da beide Tiere tuberkulöse Veränderungen aufwiesen.

Mikroskopisch liefs sich an zahlreichen Stellen zentrale Verkäsung nachweisen. Typische Riesenzellen konnten nicht gefunden werden.

Die Butter entstammte einer Algäuer Molkerei und war in einer Spezereihandlung eingekauft worden. Die Untersuchung einer später eingekauften Butterprobe (Probe 94) wies einen negativen Befund auf.

Meerschweinchen Nr. 70

war am 28. XI. 04 mit 2 ccm fettfreiem Bodensatz intraperitoneal geimpft worden. Der Sektionsbefund gleicht dem von Meerschweinchen 66. In den

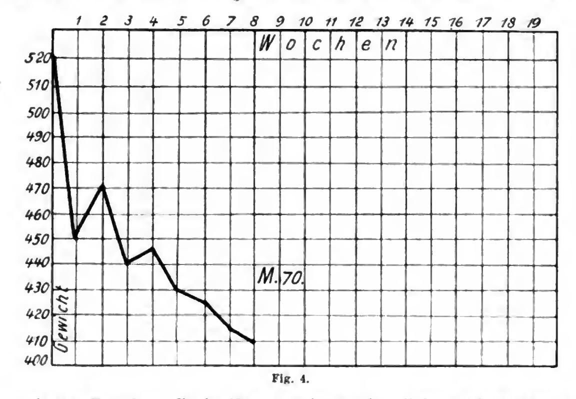


Fig. 4.

verkästen Knötchen, die im Netz gefunden wurden, liefsen sich säurefeste Stäbchen tinktoriell nachweisen, Wiederverimpfung erkrankter Organteile auf

Meerschweinchen rief tuberkulöse Erscheinungen hervor. Die Kulturversuche fielen negativ aus.

Mikroskopisch konnte zentrale Verkäsung nachgewiesen werden. Typische Riesenzellen wurden nicht gefunden.

Die Butter entstammte einer Albgenossenschaftsmolkerei und war in einer Spezereihandlung der Stadt eingekauft worden.

Meerschweinchen Nr. 105

war am 28. XII. 04 mit 2 ccm fettfreiem Bodensatz intramuskulär geimpft worden, zeigte nach 17 Tagen eine Lymphdrüsenschwellung. In den Drüsen konnten tinktoriell Tuberkelbazillen nachgewiesen werden. Die Injektion einer Aufschwemmung zerdrückter Drüsenteile rief wiederum tuberkulöse Erscheinungen hervor. Der Kulturversuch fiel negativ aus. Von einer mikroskopischen Untersuchung der Gewebteile wurde abgesehen.

Die Butter entstammte einer Genossenschaftsmolkerei der Alb und war in einer Kolonialwarenhandlung eingekauft worden.

Meerschweinchen Nr. 127

war am 25. I. 05 mit 1,5 ccm fettfreiem Bodensatz geimpft worden. Nach 17 Tagen war eine Lymphdrüsenschwellung bemerkbar. Die Sektion erfolgte 5 Wochen nach der Impfung. In den Lymphdrüsen konnten säurefeste

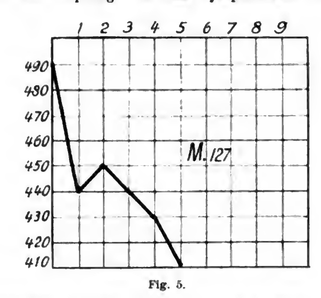


Fig. 5.

Stäbchen nachgewiesen werden. Lunge und Leber zeigten im Durchschnitt einige Knötchen, die sich mikroskopisch als Tuberkel nachweisen liefsen. Die Milz war vergröfsert. Ein Teilchen der Milz wurde in die vordere Augenkammer eines Kaninchens eingeführt. Die mikroskopische Untersuchung ergab Tuberkulose.

Die Butter entstammte einer Genossenschaftsmolkerei der Alb und war in einer hiesigen Spezereiwarenhandlung eingekauft worden.

Nr. der Butterprobe	Alter der verwendeten Butter	Anreicherungsverfahren nach Hesse				Nr. und Geschlecht der Meerschweinchen	Injektionsstelle	Injektionsmenge	Datum der Injektion	Gestorben
		Platte								
		I	II	III	IV					
	Tage							ccm	1904	1904
1	3	—	—	—	—	1 ♂	Intraperiton.	2 (fetthalt. Bodens.)	11.V.	19.V.
2	3	—	—	—	—	2 ♂	»	2	28. »	—
3	4	—	—	—	—	3 ♂	»	2	30. »	—
4	2	—	—	—	—	4 ♂	»	2	30. »	31. »
5	3	—	—	—	—	5 ♂	»	2	31. »	—
6	2	—	—	—	—	6 ♀	»	2	1.VI.	—
7	2	—	—	—	—	7 ♀	»	1,5	3. »	7.VI.
8	3	—	—	—	—	8 ♂	»	2	4. »	—
9	2	—	—	—	—	9 ♂	»	2	4. »	—
10	2	—	—	—	—	10 ♂	»	2	6. »	10. »
11	2	—	—	—	—	11 ♂	»	2	12. »	—
12	3	—	—	—	—	12 ♂	»	2	15. »	17. »
13	3	—	—	—	—	13 ♀	»	2	20. »	—
14	2	—	—	—	—	14 ♀	»	2	20. »	—
15	2	—	—	—	—	15 ♀	»	2	26. »	—
16	4	—	—	—	—	16 ♂	»	2	4.VII.	—
17	3	—	—	—	—	17 ♂	»	2	4. »	—
18	1	—	—	—	—	18 ♂	»	2	11. »	13.VII.
	(aufbewahrt b. + 4° C) 7	—	—	—	—	19 ♂	»	2	18. »	—
19	2	—	—	—	—	20 ♂	»	2	19. »	—
20	2	—	—	—	—	21 ♀	»	1,5	22. »	—
21	3	—	—	—	—	22 ♀	»	1,5	25. »	—
22	3	—	—	—	—	23 ♂	»	1,5	27. »	—
23	3	—	—	—	—	24 ♂	»	2	30. »	—
	3	—	—	—	—	25 ♂	Subkut.	1,5	30. »	—
24	2	—	—	—	—	26 ♂	Intraperiton.	1	2.VIII.	—
25	4	—	—	—	—	27 ♂	»	1,5	2. »	—
26	3	—	—	—	—	28 ♂	»	1,5	4. »	—
27	3	—	—	—	—	29 ♂	»	2	9. »	—

Getötet	Gew. bei der Injekt	Schlufs-gewicht	Klinisches Verhalten	Makro-skopischer Befund	Mikro-skopischer Befund
1904	g	g			
—	610	410	Das Tier zeigt am Tag nach der Injektion Krankheitserscheinungen	Peritonitis	Staphylococcus pyogenes
18. VII.	420	540	—	Normal	—
18. »	410	490	—	»	—
—	370	360	—	Peritonitis	do.
25. »	600	615	—	Normal	—
27. »	445	430	—	»	—
—	410	370	Das Tier nimmt vom Tag der Injektion an nur wenig Nahrung zu sich	Peritonitis	do.
30. »	520	570	—	Normal	—
30. »	500	540	—	»	—
—	390	340	Das Tier zeigt am Tag nach der Injektion Krankheitserscheinungen	Peritonitis	do.
10. X.	770	620	—	Tuberkulöse Veränderung der Organe	Vgl. Sektionsprotokoll S. 9
—	395	360	—	Peritonitis	Staphylococcus pyogenes
17. »	390	305	Meerschweinchen gebärt am 25. VII. 04 3 Junge	Normal	—
17. »	460	435	—	»	—
18. »	510	540	—	»	—
23. »	600	560	—	»	—
21. X.	470	495	—	»	—
—	630	590	—	Peritonitis	do.
31. »	720	700	—	Normal	—
31. »	550	570	—	»	—
31. »	790	600	Gebärt am 15. VIII. 04 4 Junge	»	—
31. »	465	570	—	»	—
25. »	540	555	—	»	—
29. »	600	610	—	»	—
29. »	510	590	—	»	—
2. XI.	430	530	—	»	—
2. »	595	610	—	»	—
3. »	455	585	—	»	—
3. »	590	500	—	Tuberkulöse Veränderung von Organen	Vgl. Sektionsprotokoll S. 10

Nr. der Butterprobe	Alter der verwendeten Butter	Anreicherungsverfahren nach Hesse — Platte				Nr. und Geschlecht der Meerschweinch.	Injektionsstelle	Injektionsmenge	Datum der Injektion	Gestorben
		I	II	III	IV					
	Tage							ccm	1904	
28	3	—	—	—	—	30 ♂	Intraperitoneal	2	9. VIII.	—
29	1	—	—	—	—	31 ♂	»	1,5	13. »	—
30	2	—	—	—	—	32 ♂	»	2	13. »	—
31	2	—	—	—	—	33 ♂	»	2	17. »	10. X. 04
32	3	—	—	—	—	34 ♂	»	2	17. »	—
33	2	—	—	—	—	35 ♂	»	1,5	19. »	—
	2	—	—	—	—	36 ♀	»	1,5	19. »	—
34	1	—	—	—	—	37 ♂	»	2	20. »	—
35	2	—	—	—	—	38 ♀	»	2	20. »	—
36	2	—	—	—	—	39 ♂	»	1,5	24. »	—
37	2	—	—	—	—	40 ♂	»	2	24. »	—
38	1	—	—	—	—	41 ♂	»	2	26. »	—
39	3	—	—	—	—	42 ♀	»	2	27. »	—
40	2	—	—	—	—	43 ♀	»	1,5	27. »	—
41	4	—	—	—	—	44 ♂	»	2	29. »	—
42	2	—	—	—	—	45 ♂	»	2	29. »	—
43	2	—	Säurefeste Stäbchen vgl. später	—	—	46 ♂	»	1,5	30. »	—
44	3	—	—	—	—	47 ♂	»	1,5	30. »	—
45	2	—	—	—	—	48 ♂	»	2	30. »	—
46	3	—	—	—	—	49 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	1. XI.	—
	3	—	—	—	—	50 ♂	Intraperitoneal	2	1. »	—
47	2	—	—	—	—	51 ♀	Intram. Hintersch.	1,5	3. »	—
		—	—	—	—	52 ♂	Intraperitoneal	2	3. »	—
48	2	—	—	—	—	53 ♀	»	2	5. »	—
	2	—	—	—	—	54 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	5. »	—
49	1	—	—	—	—	55 ♀	Intraperitoneal	2	7. »	—
50	2	—	—	—	—	56 ♂	»	2	10. »	—
51	3	—	—	—	—	57 ♀	»	2	12. »	—
		—	—	—	—	58 ♂	Intram. Hintersch	2	12. »	—
52	2	—	—	—	—	59 ♂	Intraperitoneal	1	14. »	—
53	1	—	—	—	—	60 ♀	Intram. Hintersch.	1,5	14. »	—

Getötet	Gew. bei der Injekt.	Schlufs-gewicht	Klinisches Verhalten	Makro-skopischer Befund	Mikro-skopischer Befund
1904	g	g			
3. XI.	510	540	—	Normal	—
5. ›	440	470	—	›	—
5. ›	380	415	—	›	—
—	430	490	—	›	Als Todesursache wurde eine Darmverschlingung konstatiert
2. ›	310	390	—	›	—
11. ›	440	480	—	›	—
11. ›	370	420	—	›	—
14. ›	585	620	—	›	—
14. ›	510	520	—	›	—
15. ›	380	400	—	›	—
15. ›	410	430	—	›	—
19. ›	360	390	—	›	—
22. ›	500	545	—	›	—
22. ›	375	430	—	›	—
22. ›	610	635	—	›	—
25. ›	460	490	—	›	—
28. ›	400	430	—	›	—
28. ›	510	530	—	›	—
28. ›	590	610	—	›	—
21. XII.	460	490	—	›	—
21. ›	535	570	—	›	—
26. XI.	530	500	—	Tuberkulöse Veränderung der Lymphdrüse	Vgl. Sektionsprotokoll S. 11
23. XII.	470	510	—	Normal	—
23. ›	500	560	—	›	—
23. ›	490	520	—	›	—
30. ›	450	430	—	›	—
30. ›	520	560	—	›	—
30. ›	420	400	—		
30. ›	320	340	—	›	—
				›	—
2. I. 05	390	440	—	›	—
4. › ›	460	520	—	›	—

Nr. der Butterprobe	Alter der verwendeten Butter	Anreicherungsverfahren nach Hesse				Nr. und Geschlecht der Meerschweinchen	Injektionsstelle	Injektionsmenge	Datum der Injektion
		Platte							
		I	II	III	IV				
	Tage							ccm	1904
54	4	—	—	—	—	61 ♂	Intraperitoneal	2	15. XI.
55	3	—	—	—	—	62 ♀	Intram. Hintersch.	1,5	15. »
56	2	—	—	—	—	63 ♀	Intraperitoneal	2	18. »
57	4	—	—	—	—	64 ♂	do.	1,5	21. »
58	3	—	—	—	—	65 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	23. »
59	2	—	—	—	—	66 ♀	Intraperitoneal	1,5	23. »
	2	—	—	—	—	67 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	23. »
60	3	—	—	—	—	68 ♂	Intraperitoneal	2	26. »
	3	—	—	—	—	69 ♂	Intram. Hintersch	2	26. »
61	2	—	—	—	—	70 ♀	Intraperitoneal	2	28. »
62	3	—	—	—	—	71 ♂	»	1,5	30. »
63	2	—	—	—	—	72 ♂	»	1,5	3. XII.
64	3	—	—	—	—	73 ♀	»	2	3. »
	3	—	—	—	—	74 ♂	Intram. Hintersch	2	3. »
65	3	—	—	—	—	75 ♂	Intraperitoneal	2	5. »
	3	—	—	—	—	76 ♂	Intram. Hintersch	2	5. »
66	2	—	—	—	—	77 ♂	Intraperitoneal	2	6. »
	2	—	—	—	—	78 ♂	Intram. Hintersch.	2	6. »
67	1	—	—	—	—	79 ♀	Intraperitoneal	1,5	7. »
	1	—	—	—	—	80 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	7. »
68	2	—	—	—	—	81 ♂	Intraperitoneal	2	8. »
	2	—	—	—	—	82 ♂	Intram. Hintersch.	2	8. »
69	1	—	—	—	—	83 ♂	Intraperitoneal	1,5	9. »
	1	—	—	—	—	84 ♂	Intram. Hintersch.	2	9. »
70	2	—	—	—	—	85 ♀	Intraperitoneal	2	14. »
	2	—	—	—	—	86 ♀	Intram. Hintersch.	2	14. »
71	1	—	—	—	—	87 ♀	Intraperitoneal	2	15. »
	1	—	—	—	—	88 ♂	Intram. Hintersch.	1	15. »
72	3	—	—	—	—	89 ♀	Intraperitoneal	2	16. »
	3	—	—	—	—	90 ♂	Intram. Hintersch.	2	16. »
73	3	—	—	—	—	91 ♂	Intraperitoneal	2	17. »
	3	—	—	—	—	92 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	17. »
74	2	—	—	—	—	93 ♀	Intraperitoneal	2	19. »
	2	—	—	—	—	94 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	19. »
75	2	—	—	—	—	95 ♂	Intraperitoneal	2	19. »
	2	—	—	—	—	96 ♂	Intram. Hintersch.	1,5	19. »
76	3	—	—	—	—	97 ♀	Intraperitoneal	2	20. »
	3	—	—	—	—	98 ♀	Intram. Hintersch.	1,5	20. »

Gestorben	Getötet	Gew. bei der Injekt.	Schlufs-gewicht	Klinisches Verhalten	Makro-skopischer Befund	Mikro-skopischer Befund
	1905	g	g			
—	4. I.	620	635	—	Normal	—
—	7. ›	440	480	—	›	—
—	7. ›	490	540	—	›	—
—	4. ›	600	620	—	›	—
—	14. ›	510	545	—	›	—
—	14. ›	410	335	—	Tuberkul. Veränderg. der Organe	Vgl. Sektions-protokoll S. 12
—	21.XII.04	500	470	—	Tuberk.	do.
—	16. I.05	300	330	—	Normal	—
—	17. ›	430	460	—	›	—
—	25. ›	520	410	—	Tuberk.	Vgl. S.-Prot. S. 12
—	25. ›	610	590	—	Normal	—
—	10. II.	410	460	—	›	—
—	10. ›	520	580	—	›	—
—	16. I.	430	500	—	›	—
—	23. ›	560	590	—	›	—
—	23. ›	420	475	—	›	—
—	23. ›	460	510	—	›	—
—	23. ›	440	490	—	›	—
12.XII.04	—	610	560	—	Peritonit.	Staphylococcus pyogenes
—	24. I.	430	470	—	Normal	—
—	27. ›	490	510	—	›	—
—	27. ›	600	575	—	›	—
—	30. ›	320	350	—	›	—
—	30. ›	435	495	—	›	—
—	1. ›	450	500	—	›	—
—	1. ›	475	545	—	›	—
—	1. ›	605	620	—	›	—
—	1. ›	290	320	—	›	—
—	3. II.	380	400	—	›	—
—	3. ›	440	510	—	›	—
—	3. ›	590	595	—	›	—
—	3. ›	470	515	—	›	—
—	6. ›	430	460	—	›	—
—	6. ›	510	545	—	›	—
24.XII.04	—	500	420	—	Peritonit.	Staphylococcus pyogenes
—	14. I.	430	400	—	Tuberk.	—
—	11. II.	490	560	—	Normal	—
—	11. ›	540	585	—	›	—

Nr. der Butterprobe	Alter der Butter	Anreicherungsverfahren nach Hesse — Platte				Nr. und Geschlecht der Meerschweinch.	Injektionsstelle	Injektionsmenge	Datum der Injektion
		I	II	III	IV				
	Tage							ccm	
77	1	—	—	—	—	99 ♂	Intraperitoneal	2	21.XII.04
	1	—	—	—	—	100 ♀	Intram. Hinterschenkel	1,5	21. » »
78	1	—	—	—	—	101 ♂	»	2	22. » »
79	2	—	—	—	—	102 ♂	»	1,5	23. » »
80	2	—	—	—	—	103 ♂	»	2	23. » »
81	2	—	—	—	—	104 ♂	Intraperitoneal	1,5	28. » »
	2	—	—	—	—	105 ♀	Intram. Hinterschenkel	2	28. » »
82	2	—	—	—	—	106 ♂	Intraperitoneal	1,5	30. » »
	2	—	—	—	—	107 ♀	Intram. Hinterschenkel	1,5	30. » »
83	1	—	—	—	—	108 ♂	Intraperitoneal	2	31. » »
	1	—	—	—	—	109 ♀	Intram. Hinterschenkel	1,5	31. » »
84	2	—	—	—	—	110 ♀	Intraperitoneal	2	2. I. 05
	2	—	—	—	—	111 ♂	Intram. Hinterschenkel	2	2. » »
85	1	—	—	—	—	112 ♂	Intraperitoneal	2	3. » »
	1	—	—	—	—	113 ♂	Intram. Hinterschenkel	1,5	3. » »
86	2	—	—	—	—	114 ♂	Intraperitoneal	2	3. » »
	2	—	—	—	—	115 ♀	Intram. Hinterschenkel	1,5	3. » »
87	1	—	—	—	—	116 ♂	Intraperitoneal	2	4. » »
88	2	—	—	—	—	117 ♂	Intram. Hinterschenkel	1,5	4. » »
89	2	—	—	—	—	118 ♀	»	1,5	5. » »
90	2	—	—	—	—	119 ♀	»	2	5. » »
91	2	—	—	—	—	120 ♂	»	1	11. » »
92	1	—	—	—	—	121 ♂	»	1,5	14 » »
93	2	—	—	—	—	122 ♀	»	2	14. » »
94	2	—	—	—	—	123 ♂	»	2	20. » »
95	2	—	—	—	—	124 ♀	»	1,5	21. » »
96	2	—	—	—	—	125 ♀	»	2	21. » »
97	1	—	—	—	—	126 ♂	»	2	24. » »
98	1	—	—	—	—	127 ♂	»	1,5	25. » »
99	2	—	—	—	—	128 ♂	»	1	27. » »
100	2	—	—	—	—	129 ♀	Intraperitoneal	2	27. » »
	2	—	—	—	—	130 ♀	Intram. Hinterschenkel	1,5	27. » »

Gestorben	Getötet	Gewicht bei der Injektion	Schlufs-gewicht	Klinisches Verhalten	Makro-skopischer Befund	Mikroskopischer Befund
		g	g			
—	16. II. 05	460	520	—	Normal	—
—	16. › ›	475	515	—	›	—
—	16. › ›	440	490	—	›	—
—	16. › ›	520	590	—	›	—
—	18. › ›	540	560	—	›	—
—	24 › ›	470	530	—	›	—
—	15. I. ›	410	400	—	Tuberkul.	Vgl. Sektions-protok. S. 13
—	28. II. ›	460	500	—	Normal	—
—	15. I ›	540	560	—	›	—
—	28. II. ›	490	530	—	›	—
—	28. › ›	430	510	—	›	—
—	27. › ›	530	560	—	›	—
—	1. I. ›	570	580	—	›	—
—	2. III. ›	400	420	—	›	—
—	2. › ›	360	385	—	›	—
—	2. › ›	440	480	—	›	—
—	2. › ›	410	440	—	›	—
—	3. › ›	470	500	—	›	—
—	4. II. ›	›	540	—	›	—
—	17. › ›	540	575	—	›	—
—	18. › ›	420	460	—	›	—
—	11. III ›	510	540	—	›	—
—	14. › ›	500	510	—	›	—
—	18. › ›	540	570	—	›	—
—	22. › ›	490	540	—	›	—
—	20. › ›	520	580	—	›	—
—	20. › ›	440	485	—	›	—
—	21. › ›	470	510	—	›	—
—	6. › ›	490	410	—	Tuberkul.	Vgl. S.-Prot. S. 13
—	21. › ›	410	490	—	Normal	—
—	21. › ›	560	610	—	›	—
—	21. › ›	540	580	—	›	—

Untersuchungsergebnisse.

Im ganzen wurden 100 Butterproben mit 140 Versuchstieren auf Tuberkelbazillen untersucht. 6 Butterproben kommen in Wegfall, weil die Versuchstiere an Peritonitis starben. Die in Betracht kommenden 94 Butterproben entstammen 90 verschiedenen Bezugsquellen und 88 verschiedenen Molkereien. Von den untersuchten Proben konnten in acht (8,5 %) mittels Tierversuchs Tuberkelbazillen nachgewiesen werden.

Den Nachweis von Tuberkelbazillen durch Aufstreichen von Bodensatz auf Heyden-Agarplatten zu erbringen, mifslang in allen Fällen, ebenso konnte das tinktorielle Verfahren, ausgeführt mit dem Bodensatz nach der Rothschen Methode, den Tierversuch nicht ersetzen. In einem Falle konnte in einem Klatschpräparat einer Kultur, die auf Heydenagar gewachsen war, ein relativ säurefestes Stäbchen gefunden werden, das aber morphologisch so sehr vom echten Tuberkelbazillus differenziert war, dafs kein Zweifel über seine etwaige Identität aufkommen konnte. Die gezüchtete Reinkultur dieser Stäbchen liefs keine Säurefestigkeit mehr erkennen.

Die Isolierung von Tb aus den Organen der kranken Tiere gelang bei keinem Versuchstier. Dieser Mifserfolg deckt sich mit denjenigen vieler anderer Autoren (Herr, Teichert u. a.).

»Pseudotuberkulöse« Veränderungen konnte ich bei den Versuchstieren in keinem Falle finden, was offenbar mit dem Obermüllerschen Butterpräparationsverfahren zusammenhängt, wie dies auch schon von anderen Autoren erwähnt worden ist. Auch dürfte der grofse Zeitraum, der zwischen dem Impftag und dem Sektionstag lag, zu diesem Befund beigetragen haben, da nach Ansicht verschiedener Autoren die »pseudotuberkulösen« Veränderungen zurückgehen können.

Das Injektionsverfahren, den Bodensatz der Butter in die Muskulatur der inneren und hinteren Fläche des Hinterschenkels einzuführen, bewährte sich bei den Butteruntersuchungen und ist wohl geeignet, die seither angewandte intraperitoneale Injektion zu ersetzen.

Im Gegensatz zu den Untersuchungsresultaten Herberts, der teilweise Butterproben aus Württemberg zu seinen Untersuchungen verwendet hatte, glaube ich auf Grund der vorliegenden Untersuchungen und meiner Studien über das württembergische Molkereiwesen nicht zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dafs »die allgemeinen hygienischen Gesichtspunkte der Butterbereitung im Schwabenlande genügende Berücksichtigung finden«, sondern bin zur gegenteiligen Ansicht geneigt, zu der Ansicht, dafs das Pasteurisieren der Milch und des Rahms mehr Eingang in unser Molkereiwesen erlangen sollte.

Dafs das konsumierende Publikum in seinem eigenen Interesse diesem Übelstand am tatkräftigsten entgegenarbeiten kann, möchte ich ausdrücklich erwähnen. Die Butter spielt merkwürdigerweise trotz der Bestrebungen für hygienische Milchversorgung der Städte immer noch die Rolle eines Stiefkindes. Während die Krankheitserreger in der Milch unschwer von jedem Konsumenten durch Kochen der Milch zu beseitigen sind, wird die Butter zumeist in rohem Zustande genossen, weshalb um so mehr darauf zu dringen ist, dafs die Herstellungsmethoden der Butter dahin verbessert bzw. ergänzt werden, dafs dem Konsumenten eine Garantie für eine von Krankheitskeimen freie Butter geboten ist.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem verehrten Chef, Herrn Stadtarzt Dr. Gastpar, für den Auftrag, diese Arbeit in seinem Institut auszuführen, für die liebenswürdige Unterstützung bei der Durchmusterung der Schnitte und für die bereitwillige Überlassung der Materialien und Räumlichkeiten zu den Untersuchungen meinen wärmsten Dank auszusprechen. Bei dem Augeninjektionsverfahren wurde mir die freundliche Unterstützung von Herrn Sanitätsrat Prof. Dr. Königshöfer, Vorstand der Charlottenheilanstalt für Augenkranke zuteil, bei der Anfertigung der Augenschnitte gewährte mir Herr Dr. Staiger, Assistenzarzt an der I. Stadtarztstelle in liebenswürdiger Weise seinen Beistand. Ich möchte auch an dieser Stelle diesen Herren meinen herzlichen Dank aussprechen.

Benutzte Literatur.

(Alphabetisch geordnet.)

Abenhausen, Einige Untersuchungen über das Vorkommen von Tuberkelbazillen in der Marburger Butter nnd Margarine. (Inaug.-Dissertat., Marburg 1900.)

Ascher, Untersuchungen von Butter und Milch auf Tuberkelbazillen. (Zeitschrift für Hygiene, Bd. 32, 1899.)

Aujeszky, Über das Vorkommen der Tuberkelbazillen in der Budapester Marktbutter. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 31, 1902.)

Bang, Experimentelle Untersuchungen über tuberkulöse Milch. (Deutsche Zeitschrift für Tiermedizin und vergleichende Pathologie. Bd. 17, 1891.)

Barthel & Stenström, Weitere Beiträge zur Frage des Einflusses hoher Temperaturen auf Tuberkelbazillen in der Milch. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 37, 1904.)

Baumgartens Jahresbericht 1901, Jahrgang 17.

Bering, Römer und Ruppel, Tuberkulose. (Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Bonhoff, Über das Vorkommen von Tuberkelbazillen in der Marburger Butter und Margarine. (Hygienische Rundschau, Bd. 10, 1900.)

Brusaferro, Alcune esperienze di inoculazione col burro del commercio (Giornale di med. veter. prat. Torino 1890. Ref. Baumgartens Jahresbericht 1890.)

Cipollina Angelo, Beitrag zu dem Studium der Rinder- und menschl. Tuberkulose. (Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Coggi, Sulla presenza di bacilli tubercolari nel burro di mercato di Milano. (Giornale della reale società italiana d'igiene 1899, Nr. 7. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 27, 1900.)

Courmont, P. et Descos, A. Lésions tuberculiformes causées par l'inoculation chez le chien par voie sous-cutanée du buille »acido-resistant« du beurre de Binot. (Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Dawson, Fifteenth annual report of the Bureau of animal industry 1898 U. S. Dept. of agricult. Washington 1899. (Ref. Hyg. Rundschau 1900 u. Baumgartens Jahresbericht. 15. Jahrg. 1899.)

Dinwiddie, The intransmissibility of human and bovine tuberkulosis. (Ref. Zentralblatt f. Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Dusselhorst, Die Frage der Identität der Menschen- und Tiertuberkulose. (Orig. Münchener med. Wochenschrift 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Fiebiger & Jensen, Übertragung der Tuberkulose des Menschen auf das Rind. (Orig. Berliner klinische Wochenschrift 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Galtier, Dangers de l'utilisation des produits, tels que le petit-lait et le fromage, obtenus avec le lait de vaches tuberculeuses. (Comptes rendus des séances de l'académie des sciences de Paris 1887.)

Gasperini, Il burro naturale come merzo di trasmissione della tuberculosi. (Giornale della R. Società d'igiene 1890. Ref. Baumgartens Jahresbericht 1890.)

Grafsberger, Über die nach intraperitonealer Injektion von Marktbutter bei Meerschweinchen entstehenden Veränderungen. (Münchener medizin. Wochenschrift, 46. Jahrgang, 1899.)

Heim, Über das Verhalten des Krankheitserregers der Cholera, des Unterleibstyphus und der Tuberkulose in Milch, Butter, Molken und Käse. (Arbeiten a. d. kais. Gesundheitsamt, Bd. 5, 1889.)

Hellström, Über Tuberkelbazillen-Nachweis in Butter und einige vergleichende Untersuchungen über pathogene Keime in Butter aus pasteurisiertem und nichtpasteurisiertem Rahm. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 28, 1900.)

Herbert, Untersuchungen über das Vorkommen von Tuberkelbazillen in der Marktbutter. (Arbeiten aus dem Gebiete der patholog. Anatomie und Bakteriologie von Baumgarten, 3. Bd., 1902.)

Herr & Beninde, Untersuchungen über das Vorkommen von Tuberkelbazillen in der Butter. (Zeitschrift für Hygiene, Bd. 38, 1901.)

Hesse, Ein neues Verfahren zur Züchtung des Tuberkelbazillus. (Zeitschrift für Hygiene, Bd. 31, 1899.)

Hölscher, Experimentelle Untersuchungen mit säurefesten Tuberkelbazillen ähnlichen Spaltpilzen. (Arbeit a. d. Gebiete der patholog. Anat. u. Bakter. von Baumgarten, 3. Bd., 1902.)

Hoffmann, Über Fortzüchtung von Tuberkelbazillen auf Glyzerinkartoffeln. (Hygienische Rundschau, 14. Jahrg.)

Hormann & Morgenroth, Über Bakterienbefunde in der Butter. (Hygien. Rundschau, 8. Jahrg., 1898.)

Hüllen v., Ein Beitrag zur Biologie der Tuberkelbazillen mit besonderer Berücksichtigung der Hesseschen Angaben. (Zentralblatt f. Bakteriolog., Bd. 33, 1903.)

Jäger, Über die Möglichkeit tuberkulöser Infektion des Lymphsystems durch Milch und Milchprodukte. (Hygienische Rundschau IX., 1899.)

Kitasato, Über das Verhalten der einheimischen japanischen Rinder zur Tuberkulose (Perlsucht). (Zeitschrift für Hygiene, 48. Bd., 3. Heft, 1904.)

Klein, Pathogenic mikrobes in Milk. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Koch, Übertragbarkeit der Rindertuberkulose auf den Menschen. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Köhler, Über den Stand der Frage von der Übertragbarkeit der Rindertuberkulose auf den Menschen. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Kolle & Wassermann, Handbuch der pathogenen Mikroorganismen. II. Bd., 1903.

Korn, Zur Kenntnis der säurefesten Bakterien. (Zentralbl. für Bakteriologie, 1. Abt., Bd. 25. 1899.)

—, Tuberkelbazillenfunde in der Marktbutter. (Archiv für Hygiene. Bd. 36, 1899.)

Krause, Über einen Fall von Impftuberkulose eines Schlachthausarbeiters durch tuberkulöse Organe eines Rindes. (Orig. Münchener med. Wochenschrift 1902. Ref. Zentralblatt f. Bakteriolog., Bd. 32, 1903.)

Kühnau, Über Beschaffung einwandfreier Milch durch Sorge für gesunde Viehbestände unter besonderer Berücksichtigung der Rindertuberkulose. (Sitzung der biolog. Abt. des Hamburger ärztl. Vereins vom 20. März 1900. Ref. Zentralblatt f. Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Küster, Milchhygiene. (Orig. dtsch. med. Wochenschrift 1901, Nr. 48. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Laser, Über das Verhalten von Typhusbazillen, Cholerabakterien und Tuberkelbazillen in der Butter. (Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 10, 1891.)

Lassar, Über Impftuberkulose. (Orig. dtsche. med. Wochenschrift, Nr. 40, 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Lehmann & Neumann, Atlas und Grundrifs der Bakteriologie. (3. Aufl. 1904.)

Löffler, Hygiene der Molkereiprodukte. (Orig. dtsche. med. Wochenschrift 1901, Nr. 51/52. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie. Bd. 33, 1903.)

Lorenz, Chemisch-bakteriologische Untersuchungen der in Jurgew (Dorpat) vorkommenden Kuhbutter. (Inaug.-Dissertation. Dorpat 1901.)

Markl, Zur Frage des Vorkommens von Tuberkelbazillen in der Wiener Marktbutter und Margarine. (Wiener klinische Wochenschrift, 14. Jahrg. 1901.)

Michelazzi, Sugli effetti tossici della prolungata alimentazione con latte sterilizzato di animale tubercolotico. (Orig. Anneli d'igiene sperimentale Vol. XI, 1901. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Möller, Zur Frage der Übertragbarkeit der Menschentuberkulose auf Rinder und Ziegen. (Orig. dtsche. med. Wochenschrift 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

—, Beitrag zum Vorkommen von Pseudotuberkelbazillen bei Rindern. (Orig. Berliner tierärztl. Wochenschrift 1903. Ref. Zentralblatt f. Bakteriolog., Bd. 33, 1903.)

Morgenroth, Über das Vorkommen von Tuberkelbazillen in der Margarine. (Hygienische Rundschau, IX., 1899.)

Obermüller, Über Tuberkelbazillenfunde in der Marktbutter. (Hygienische Rundschau, 7. Jahrg., 1897.)

—, Weitere Mitteilungen über Tuberkelbazillenfunde in der Marktbutter. (Hygienische Rundschau, IX., 1899.)

—, Über neuere Untersuchungen, das Vorkommen echter Tuberkuloseerreger in der Milch und den Molkereiprodukten betreffend. (Hygienische Rundschau, 10. Jahrg., 1900.)

Orth, Was ist Perlsucht? (Orig. Berliner klinische Wochenschrift 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Ostertag, Breidert, Käsewurm & Krautstrunk, Untersuchungen über die Eutertuberkulose und die Bedeutung der sog. säurefesten Pseudotuberkelbazillen für die Feststellung der Eutertuberkulose. (Zeitschrift für Fleisch- und Milchhygiene, Heft 1, Oktober 1904.)

Pawlowsky, Untersuchungen betreffend die Anwesenheit von Tuberkelbazillen in der Marktmilch und Butter. (Bericht über den 10. internationalen Kongrefs für Hygiene und Demographie. Dtsche. Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege, 32. Bd., 1900.)

Petri, Zum Nachweis der Tuberkelbazillen in Butter und Milch. (Arbeiten a. d. kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 14, 1898.)

Pettersson, Untersuchungen über säurefeste Bakterien. (Berliner klinische Wochenschrift, Bd. 36, 1899.)

—, Über die Lebensbedingungen des Tuberkuloseerregers in der Salzbutter. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1902.)

Rabinowitsch, Zur Frage des Vorkommens von Tuberkelbazillen in der Marktbutter. (Zeitschrift für Hygiene, Bd. 26, 1897.)

—, Weitere Untersuchungen zur Frage des Vorkommens von Tuberkelbazillen in der Marktbutter. (Dtsche. med. Wochenschrift, 25. Jahrg. 1899.)

—, Zur Frage der Infektiosität der Milch tuberkulöser Kühe. (Zeitschrift für Tiermedizin, Bd. 8, 1904.)

Reitz, Hygienische Studien über das württembergische Molkereiwesen. (Zeitschrift für Fleisch- und Milchhygiene, 15. Jahrg. 1905, Nr. 6/8.)

Roth, Über die mikroskopische Untersuchung der Butter auf Bakterien, insbesondere auf Tuberkelbazillen. (Orig. Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte, 1897. Ref. Hygienische Rundschau, 7. Bd., 1897.)

Schanz, Perlsucht und menschliche Tuberkulose. (Orig. Wiener klinische Wochenschrift, 1903 Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Schlegtendal, Die Bedeutung der Molkereien für die Verbreitung des Unterleibstyphus. (Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege 32, 1900.)

Schmidt, Über die Vorgänge beim Ranzigwerden und den Einflufs des Rahmpasteurisierens auf die Haltbarkeit der Butter. (Zeitschrift für Hygiene, Bd. 28, 1898.)

Schuchardt, Einige Untersuchungen über das Vorkommen von Tuberkelbazillen in der Butter. (Inaug.-Dissertation, Marburg 1896.)

Stenström, Beitrag zur Frage über das Vorkommen von Tuberkelbazillen in der Milch von reagierenden Kühen. (Orig. Zeitschrift für Tiermedizin, Bd. 6, 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Steriopulo, Der gegenwärtige Stand der Frage über die Beziehungen der Menschen und Rindertuberkulose zueinander. (Vortrag bei der Sektion f. Bakteriolog. der kais. Gesellsch. f. Naturkunde in Moskau. Sitzung vom 2. Nov. 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriolog., Bd. 33, 1903.)

Sternberg, Über die Folgen der Einverleibung toter Tuberkelbazillen. (Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Szekely v., Die Frage der Identität der menschlichen und Rindertuberkulose. (Zentralbl. f. Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Teichert, Bakteriol.-chemische Studien über die Butter in der Provinz Posen mit besonderer Berücksichtigung der Tuberkelbazillen. (Klinisches Jahrbuch, 12. Bd., 5. Heft.)

Tjaden, Rinder- und Menschentuberkulose. (Orig. dtsche. Vierteljahrsschrift f. öffentl. Gesundheitspflege. Bd. 34. 1902. (Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 32, 1903.)

Tobler, Beitrag zur Frage des Vorkommens von Tuberkelbazillen in der Marktbutter. (Zeitschrift für Hygiene, Bd. 36, 1901.)

Troje, Beitrag zur Frage der Identität der Rinder- und Menschentuberkulose. Einwandfreie Beobachtung von Übertragung der Rindertuberkulose auf den Menschen durch zufällige Hautimpfung mit nachfolgender Lymphdrüsentuberkulose. (Orig. dtsche. med. Wochenschrift 1903. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Vieth, Die Behandlung der Milch mit Rücksicht auf die Seuchentilgung. (Orig. Landwirtsch. Zentralblatt. Organ der Landwirtschaftskammer für die Provinz Posen 1902. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Weifsenfeld, Über Bakterien in der Butter und einigen anderen Milchprodukten. (Berliner klinische Wochenschrift, 36, 1899.)

Wilhelmi, Zur Tuberkulosefrage. (Orig. Schweizer Archiv für Tierheilkunde, Heft 6, 1903. Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. XXXV, 1904.)

Wolff, Perlsucht und menschliche Tuberkulose. (Orig. dtsche. med. Wochenschrift 1902. (Ref. Zentralblatt für Bakteriologie, Bd. 33, 1903.)

Über die Abtötung von Bakterien durch Licht.

I.

Von

Dr. phil. **H. Thiele** und Prof. Dr. med. **Kurt Wolf**.

(Aus dem Hygienischen Institut der Techn. Hochschule zu Dresden.)

Mit Tafel I—III.

In Verfolgung unseres durch frühere Arbeiten[1]) in Angriff genommenen Zieles, die Beeinflussung der Bakterien durch physikalische Vorgänge unter Zugrundelegung möglichst einwandfreier Versuchsanordnungen zu studieren, sahen wir uns veranlafst, auch die Einwirkung des Lichtes, trotz der vielen diesbezüglichen Veröffentlichungen, nochmals zu untersuchen. Inwieweit uns dabei die Ausschliefsung der vorauszusehenden oder möglichen Fehlerquellen gelungen ist, möge aus den nachfolgenden Darlegungen hervorgehen.

Wenn man unter Licht im weiteren Sinne die gesamte, von einem erhitzten Körper in Form von Ätherschwingungen ausgestrahlte Energie versteht, so umfafst diese Bezeichnung ein ungemein grofses Gebiet von Strahlen der verschiedensten Wellenlängen (vgl. Fig. 3 S. 44). Von diesem Gebiete sind durch prismatische Zerlegung die Strahlen bis etwa 18000 $\mu\mu$ Wellenlänge aufwärts erforscht worden. Mit Hilfe der Reststrahlen gelang es Rubens, noch wesentlich weiter in der Richtung nach den wenig brechbaren Strahlen (Strahlen von gröfserer Wellenlänge) vorzudringen und damit den zwischen den kürzesten elektrischen

1) Zentralbl. d. Bakt., Bd. XXV, 650. — Arch. f. Hyg., Bd. XXXIV, 43.

Wellen und den längsten Lichtwellen liegenden Raum teilweise zu überbrücken. Die Erforschung des Gebietes der kürzesten Wellenlängen von etwa 200 $\mu\mu$ abwärts, wo die Absorption der Luft energisch einsetzt, hat mit Hilfe des Vakuum-Spektrographen Schumann mit grofsem Erfolg übernommen.

Läfst man die Strahlen irgendwelchen Spektralgebietes auf einen absolut schwarzen Körper, der sie also vollkommen absorbiert, fallen, so wird die ihnen innewohnende Energie in Wärme verwandelt, so dafs die in den verschiedenen Spektralbezirken ausgestrahlte Energie durch empfindliche Mefsinstrumente (Bolometer etc.) gemessen werden kann. Die Gesamtstrahlung eines Körpers ist in hohem Mafse von dessen Temperatur abhängig. Diese Verhältnisse sind durch zahlreiche Arbeiten der letzten Jahre eingehend untersucht worden. Sie haben für die Gesamtstrahlung das Stephan-Bolzmannsche Gesetz $S = C \cdot T^4$ ergeben, worin C eine Konstante, S die Gesamtstrahlung des schwarzen Körpers und T die absolute Temperatur bezeichnen. Die Strahlungsenergie in den einzelnen Spektralbezirken ist sehr verschieden und ebenfalls wesentlich von der Temperatur abhängig. Mit steigender Temperatur wird die Strahlung in jedem Bezirk erhöht, das Energiemaximum verschiebt sich jedoch mit steigender Temperatur nach dem Gebiete der kürzeren Wellenlängen. So gilt z. B. für den schwarzen Körper das Wiensche Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_m T = A \text{ und } E_m = B \cdot T^5,$$

worin T die absolute Temperatur, λ_m die Länge der Welle, für die die Strahlung das Maximum erreicht, und A sowie B Konstante sind.

A wurde von Lummer und Pringsheim zu 2940 bestimmt, so dafs das Energiemaximum für eine Temperatur von abs. 2000^0 bei $\lambda = \frac{2940}{2000} = 1{,}47\,\mu = 1470\,\mu\mu$ liegen würde.

Von dem grofsen Strahlungsgebiete ist nur ein relativ geringer Teil dem Auge sichtbar, und zwar nach Listings Angaben das Gebiet zwischen 723—397 $\mu\mu$. Es liegt also selbst

für eine der Schmelztemperatur des Platins naheliegende Temperatur das Energiemaximum des strahlenden schwarzen Körpers oberhalb der äufsersten sichtbaren roten Strahlen. Zur Charakteristik der obwaltenden Verhältnisse sei hier noch eine von Lummer und Pringsheim[1]) mitgeteilte Tabelle, welche die Lage der Energiemaxima einiger Lichtquellen enthält, wieder gegeben:

	λ_m
Argandlampe . . .	1550 $\mu\mu$
Kerze	1500 »
Glühlampe	1400 »
Auerlampe	1200 »
Nernstlampe	1200 »
Bogenlampe	700 »

Man sieht aus derselben, dafs erst bei der Bogenlampe mit einer etwa 4000° abs. betragenden Temperatur das Energiemaximum so weit nach dem Gebiete kürzerer Wellenlängen rückt, dafs es zu Beginn des äufsersten Rot zu liegen kommt. Infolge des erwähnten Umstandes wurden diese Strahlen früher allgemein als Wärmestrahlen bezeichnet, während man die anderen im Gegensatz zu ihnen kalte Strahlen nannte, indem man glaubte, dafs sie eine wesentliche Temperaturerhöhung in einem von ihnen bestrahlten Objekt nicht zu verursachen imstande wären.

Noch vor wenigen Jahren galt der Versuch, im ultravioletten Teil des Spektrums mit Bolometer oder Thermosäule zu messen, für aussichtslos. Da es aber Snow[2]) gelungen war, die bolometrische Wirksamkeit der Kohlenbande des Lichtbogens bei 388 und 358 $\mu\mu$ zu zeigen, und da Hagen und Rubens[3]) 1902 fanden, dafs sich bei 305, 288 und 221 $\mu\mu$ thermoelektrisch nachweisbare Intensitätsmaxima des Kohlenspektrums befinden, war erwiesen, dafs die ultraviolette Strahlung doch immerhin

1) Lummer u. Pringsheim, Verhandl. d. Deutsch. phys. Gesellsch. 1, 235 (1899).

2) Snow, Wiedemanns Annalen, 47, 22, 7.

3) Hagen und Rubens, Annal. d. Phys., 8, 3.

mefsbare Energiemengen enthält. Als aber Pflüger[1]) das Funkenspektrum der Metalle mit der Rubensschen Thermosäule untersuchte, erhielt er zu seinem Erstaunen im äufserstem Ultraviolett Ausschläge von hunderten, ja 1000 Skalateilen. Ganz überraschend ist an den Pflügerschen Ergebnissen, dafs die meisten Metallspektren die gröfsten Ausschläge unterhalb 260 $\mu\mu$ gaben, also in einem Gebiete, in dem die Empfindlichkeit der Bromsilbergelatineplatte schon merklich nachläfst. Pflüger hat sogar gefunden, dafs die Aluminiumlinien 186 $\mu\mu$ die stärksten des ganzen Aluminiumspektrums sind. Bei Strahlen von dieser Wellenlänge macht sich die Luftabsorption aber schon sehr weitgehend bemerkbar. Selbst Quarz ist für diese Strahlen nicht mehr vollständig farblos, die Gelatineplatte ist schon sehr unempfindlich. Das Gebiet unterhalb 186 $\mu\mu$ erfordert zu seiner Erforschung schon den Schumannschen[2]) Vakuumspektrographen mit Flufsspatoptik und gelatinefreien Platten. Auch in diesem Gebiete hat Pflüger noch thermoelektrische Messungen angestellt. Aus diesen interessanten Arbeiten geht also die bemerkenswerte Tatsache hervor, dafs der ultraviolette Teil des Spektrums keineswegs immer so »kalt« oder, besser gesagt, energiearm ist, wie man gewöhnlich annahm.

Wegen der Empfindlichkeit aller Lebewesen gegen gewisse Temperaturen wurde schon in den älteren Arbeiten, welche die Abtötung der Bakterien durch Licht behandeln, darauf Rücksicht genommen, die durch Wärme hervorgerufene Beeinträchtigung der Lebenstätigkeit der Mikroorganismen zu verhindern. Man suchte dies zu erreichen, indem man Lichtfilter zwischen Lichtquelle und bestrahltes Objekt schaltete. Man glaubte hierdurch die Wärmewirkung auszuschalten und nur Lichtstrahlen zu verwenden.

Alaun ist unter den festen Körpern besonders geeignet, einen erheblichen Teil der unsichtbaren Strahlungsenergie zu binden. Man benutzt deshalb diesen Körper als Lichtfilter. In Ermange-

1) Pflüger, Annal. d Phys., 13, 890.

2) Schumann, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien, 102, I, 59 und II, 625.

lung eines gröfseren Alaunkristalls, der immerhin umständlich zu beschaffen und schwer zu erhalten ist, wurden aber auch vielfach wässerige Alaunlösungen zu dem gleichen Zweck verwendet. Man beachtete dabei nicht, dafs die grofse absorbierende Wirkung des Alauns durch seinen Wassergehalt (24 Mol. Kristallwasser) bedingt ist, und dafs wässerige Lösungen dieses Körpers weniger die Wärmestrahlen absorbieren als reines Wasser, weil eben in diesen Lösungen das Wasser teilweise durch das Salz verdrängt ist. Dieser Irrtum kehrt in der Literatur bei vielen Arbeiten wieder, die sich mit der Abtötung der Bakterien durch Licht befassen, obwohl wiederholt[1]) auf die obwaltenden Verhältnisse hingewiesen wurde, und Zsigmondi[2]) zeigte, dafs das beste Absorptionsmittel Wasser oder eine wässerige Lösung von Ferrophosphat ist.

Die Vorschaltung eines Absorptionsmittels allein ist überhaupt nicht geeignet, um mit Sicherheit die Erhöhung der Temperatur eines dahinter befindlichen Körpers zu verhindern. Die Erwärmung dieses Körpers hängt vielmehr aufser von seiner Masse, seiner spezifischen Wärme und seiner Farbe noch von der Menge der auftreffenden Energie einerseits und der Leitung und Strahlung andererseits ab.

Da Glas z. B. für Strahlen längerer Wellenlänge, wie solche von wenig erhitzten Körpern — beispielsweise siedendem Wasser — ausgehen, wenig durchlässig ist, kann die Temperatur in einem bestrahlten Glasgefäfs wesentlich höher steigen, als sie in dem das Gefäfs umgebenden Medium ist. Es sei nur an die grofse Temperaturdifferenz erinnert, die in der Sonne ein in Glas eingeschlossenes berufstes Thermometer gegenüber dem Schleuderthermometer zeigt.

Die Bestimmung der Temperatur eines bestrahlten festen Mediums ist natürlich noch unsicherer als die eines Gases oder einer Flüssigkeit, weil bei dem festen Körper der durch Flüssigkeitsströmungen hervorgerufene Ausgleich wegfällt.

---

1) Melloni, La thermochrôse, 1, 164. — Hutschins, Amer. Journ. of Scienze, Ser. 3, Vol. 43, p. 526.

2) Zsigmondy, Wiedemanns Annalen, 49, 531.

Aus diesem Grunde haben wir unsere Versuche nur mit flüssigen Nährlösungen angestellt und diese sowohl als auch die umgebenden Medien energisch gerührt, um hierdurch den Temperaturausgleich zu fördern.

Von ausschlaggebender Bedeutung erschien uns ferner von vornherein die Absorptionsfähigkeit der verschiedenen Nährlösungen und ihrer Einschlufsgefäfse. Über die Absorption von Lösungen im Ultraviolett gaben uns die Arbeiten von Drofsbach[1]) wertvolle vorläufige Anhaltspunkte.

Wir wissen, dafs gewöhnliches Glas nahezu sämtliche Strahlen im Ultraviolett zurückhält und hauptsächlich nur die sichtbaren Lichtstrahlen hindurchtreten läfst. Diese Eigenschaft des Glases lehrt am deutlichsten ein Vergleich der beigegebenen Spektrogramme der Quarzquecksilberbogenlampe mit und ohne Zwischenschaltung einer Spiegelglasscheibe von 0,135 cm Dicke, — vgl. Spektren Nr. 1 u. 2. —

Von ungefähr 290 $\mu\mu$ Wellenlänge an sind durch das Glas sämtliche Strahlen am Durchtritt gehindert. Schon bei 310 $\mu\mu$ ist die Absorption deutlich erkennbar. Es ist aus diesem Grunde Glas von den lichtdurchlässigen festen Körpern wegen dieser seiner starken Absorption im ultravioletten Gebiete für unsere Versuche nicht geeignet. Der auch für das äufserste Ultraviolett sehr durchlässige Flufsspat ist leider in gröfseren klaren Stücken fast unbezahlbar. Der wesentlich billigere Quarz hingegen ist für Ultraviolett sehr weitgehend durchlässig; er wurde deshalb von uns allgemein angewendet.

Von den flüssigen Stoffen ist Wasser für Ultraviolett sehr durchlässig. Es würde durchlässiger sein wie Luft, wenn es nicht deren Bestandteile, insbesondere Kohlensäure, absorbiert hätte[2]).

Da die Absorption der Luft auszuscheiden zu sehr erheblichen technischen Schwierigkeiten geführt haben würde, verzichteten wir vorläufig auf die Untersuchung der Einwirkung von Strahlen im Gebiete der erheblicheren Luftabsorption (das sind Wellenlängen von etwa 200—180 $\mu\mu$ abwärts).

1) Berl. Ber., 35, 91 u. 1486.

2) Briefliche Mitteilung von Dr. Schumann, Leipzig.

In chemisch reinem Wasser gehen aber Bakterien binnen kurzer Zeit zugrunde; wir benutzten deshalb zu unseren Versuchen zuerst Elbwasser, später physiologische (0,8%) Kochsalzlösung und Bouillon in einer Verdünnung 1 : 1000. In der für bakteriologische Zwecke gewöhnlich benutzten Konzentration ist Bouillon für ultraviolette Strahlen nur äufserst wenig durchlässig. Auch Peptonlösungen absorbieren diese Strahlen sehr stark. Mit der Verdünnung nimmt die Absorption jedoch erheblich ab, so dafs Bouillonlösungen 1 : 1000 und darunter in dünnen Schichten für ultraviolette Strahlen sehr gut durchlässig erscheinen, vgl. Spektrogramme Nr. 3—11. Man sieht aus diesen Spektrogrammen, dafs die Absorption bei Bouillon (und natürlich auch bei Agar-Agar und Gelatine) noch zeitiger beginnt als beim Spiegelglas, ein Umstand, der sich schon durch die Gelbfärbung dem Auge kundgibt.

Feste Nährböden, namentlich Agar-Agar und Gelatine, sind für unsere Versuche gänzlich ungeeignet, da sie durch ihren Gehalt an Bouillon ebenso stark wie diese ultraviolette Strahlen zurückhalten (vgl. Spektrogramme 12—16.)

Es ist ganz ausgeschlossen, dafs sämtliche Strahlen einer ultravioletten Lichtquelle, wie z. B. der Bogenlampe, eine Agar-Agar- oder Gelatineschicht von der gewöhnlichen Dicke der gegossenen Platte durchdringen. Die ultravioletten Strahlen kürzerer Wellenlänge werden in den alleroberflächlichsten Schichten zurückgehalten, es dringen auch nicht Bruchteile von ihnen in die Schicht selbst ein. Auch Blutserum gehört zu den stark ultraviolett absorbierenden Medien (vgl. Spektrogramme Nr. 17—20).

Versuchsanordnung.

Unsere Versuche sind angestellt worden, um nachzuweisen:

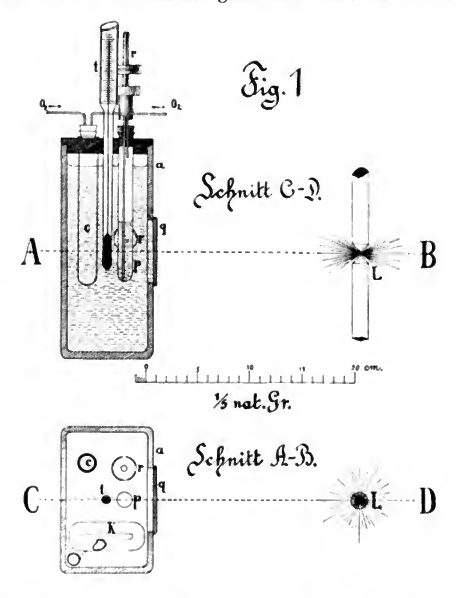
1. ob die Abtötung der Bakterien durch Licht direkt oder indirekt zustande kommt, insbesondere ob gewisse Oxydationsprodukte (Wasserstoffsuperoxyd) dabei nachweisbar sind, und ob die Sauerstoffgegenwart von Einflufs ist.

2. Welche Lichtstrahlen die Bakterien abzutöten vermögen.

Um diese Fragen zu beantworten, kam es in erster Linie auf die Wahl der Lichtquelle an. Nach den in der Einleitung gegebenen Erläuterungen müfste eine solche von möglichst hoher Temperatur gesucht werden, da das Spektralgebiet um so gröfser ist, je höher die Temperatur des strahlenden Körpers ist. In dieser Beziehung übertrifft die Sonne zweifellos alle künstlichen Lichtquellen, ihre Strahlung müfste deshalb auch ultraviolettreicher sein wie diese. Es gelangen aber keineswegs alle Strahlen, die die Sonne aussendet, auf die Erde, da die die letztere umgebende Luftschicht einen grofsen Teil, insbesondere der ultravioletten Strahlung, absorbiert. Dadurch kommt es, dafs das Spektrum des Sonnenlichts ziemlich plötzlich hinter 300 $\mu\mu$ abschneidet. Aufserdem machten die durch atmosphärische Einflüsse stark wechselnde Intensität der Strahlung und andere Schwierigkeiten diese Lichtquelle für unsere Versuche ungeeignet. Wir waren deshalb auf die Verwendung künstlicher Lichtquellen angewiesen, und es ergab sich von selbst, dafs wir das durch hohe Temperatur (ca. 3700°) ausgezeichnete elektrische Bogenlicht benutzten. Für die meisten Versuche diente eine Wechselstrombogenlampe der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin für 20 Amp. Diese war an das Sekundärnetz des städtischen Lichtwerks Dresden angeschlossen. Die 110 Volt betragende Spannung dieses Netzes wurde, um bei den oft sehr lang dauernden Versuchen nicht unnötig Energie zu verschwenden, durch einen Transformator herabgesetzt, so dafs der Strom etwa mit 32—33 Volt in die Bogenlampe trat. Die benutzten Kohlen waren Dochtkohlen[1]) von 18 mm Durchmesser. Bei einigen Versuchen wurde auch eine Quarzquecksilberbogenlampe benutzt, und zwar zuerst eine Versuchslampe der Firma Heraeus, die durch Schütteln in Gang gesetzt werden mufste, und später eine neuere Quarzlampe derselben Firma mit Induktionszündung. Beide Lampen verbrauchten etwa 2 Amp. Strom, der aus der Gleichstromleitung der Technischen Hochschule unter Vorschaltung von Glühlampen, bzw. Drahtwiderständen entnommen wurde.

1) Marke Plania.

In einer Entfernung von 20 cm von den Kohlen der Bogenlampe *L* (vgl. Fig. 1) befand sich das eigentliche Versuchsgefäfs. Dieses bestand aus einem Akkumulatorengefäfs parallelepipedischer Form *a*, in dessen eine plangeschliffene Seitenwand ein Loch von etwa 7 cm Durchmesser geschliffen war, das durch eine



Quarzplatte *q* verschlossen wurde, die wir mit Schellack festkitteten. Durch dieses Quarzfenster wurden die innerhalb eines Quarzreagenzrohres *p* in dem Akkumulatorengefäfs befindlichen Bakterienkulturen bestrahlt. Das Akkumulatorengefäfs war mit reinstem destillierten Wasser angefüllt. Dieses Wasser wurde unter besonderen Vorsichtsmafsregeln in schon lange gebrauchten Glasgefäfsen aufbewahrt und ist nach angestellten Leitfähigkeits-

messungen so arm an Salzen, dafs es einem Vergleichswasser, das im Laboratorium für Leitfähigkeitmessungen hergestellt worden war, in keiner Weise nachstand. Es war so rein, dafs ein Gehalt an organischen Stoffen durch Chamäleontitration nicht nachgewiesen werden konnte. Dieser Umstand erschien uns bedeutungsvoll, weil gerade hochmolekulare organische Stoffe gute Absorptionsstoffe für ultraviolettes Licht sind. Die Reinheit der vor dem eigentlichen Versuchsröhrchen befindlichen Medien ist viel wichtiger als die der Nährlösungen, denn in diesen kommen die Bakterien immer zeitweilig nahe an die dem Licht zugekehrte Wandung. Die vorgeschalteten Medien aber beeinflussen die Strahlung während der ganzen Versuchsdauer. Sollte ein Teil der Lichtstrahlen durch Absorption abgeblendet werden, so wurde das Akkumulatorengefäfs mit dem betreffenden Absorptionsmittel gefüllt.

Der Abstand zwischen Quarzlinse und dem Quarzreagenzrohr betrug ungefähr 2 cm, so dafs bei den Absorptionsversuchen die Lichtstrahlen immer wenigstens diese Weglänge des Absorptionsmittels durchlaufen mufsten.

Das in dem Akkumulatorengefäfs befindliche Wasser, bzw. die absorbierende Lösung, diente gleichzeitig zur Kühlung des Kulturröhrchens und wurde, um diesen Zweck tunlichst vollkommen zu erreichen, durch einen Wittschen Rührer *v* in lebhafter Bewegung erhalten; getrieben wurde letzterer durch einen Wechselstrommotor. In dem Akkumulatorengefäfs befand sich ferner eine aus einer Glasröhre gebogene Spirale *K*, die von Leitungswasser durchflossen wurde; mit Hilfe dieser konnte der gesamte Apparat auf Zimmertemperatur gehalten werden.

Ohne die Kühlvorrichtung wäre die Temperatur des Apparates, obwohl die ihn anfüllende Wassermenge ungefähr 2 l betrug, in kurzer Zeit sicher so hoch gestiegen, dafs eine erhebliche Schädigung der Bakterien hätte befürchtet werden müssen.

Dieses Verfahren, die zu exponierenden Kulturen direkt in das gekühlte Gefäfs zu setzen, hat viel vor dem sonst geübten der Zwischenschaltung einer Wasserzelle voraus, weil einmal die Menge des umspülenden Wassers eine sehr erhebliche

ist, und weil ferner der Einfluſs der Reflexionen an den Schichten verschiedener optischer Dichte auf ein Minimum herabgesetzt wird. Die Temperatur der Wasserzelle wurde durch ein hinter dem Quarzreagenzrohr befindliches Thermometer *t* während der ganzen Versuchsdauer kontrolliert. Die beschriebene Apparatur wurde in einem Zimmer, dessen Wände, Türen und Einrichtungsgegenstände matt schwarz gestrichen waren, und das vollkommen verfinstert werden konnte, aufgestellt, so daſs der Einfluſs des Tageslichtes und des von den Wänden etc. reflektierten Lichtes praktisch ausgeschlossen werden konnte.

Da die Gefahr bestand, daſs die in die Nährlösung eingesäten Bakterien sich zum erheblichen Teile zu Boden setzen würden, und weil anderseits naturgemäſs die dem Lichte zugewandten Keime einer intensiveren Bestrahlung ausgesetzt sind als die dem Lichte abgewandten, so war es nötig, die Bakterienaufschwemmung während des Versuches durchzurühren. Dieses Rühren wurde von einem Gasstrom besorgt, der bei vielen Versuchen schon deshalb nötig war, weil von vornherein, wie erwähnt, unsere Aufgabe darin bestand, zu erkennen, ob und welchen Einfluſs verschiedene Gase bei der Abtötung durch Licht hätten.

Die angewendeten Gase waren Sauerstoff und Wasserstoff. Ersterer wurde einer gewöhnlichen Sauerstoffbombe entnommen und ohne weiteres mittels dünner Glasröhrchen, die die verschlieſsenden Gummistopfen durchsetzten, in die Aufschwemmung eingeleitet. Eine besondere Reinigung war hierbei nicht nötig, weil es uns nur darauf ankam, ein Gas zu benutzen, das reichlich Sauerstoff enthielt und im übrigen indifferent war. Die Indifferenz des Gases wurde bei allen Versuchen dadurch kontrolliert, daſs ein Kontrollröhrchen *c*, mit derselben Nährlösung versehen, mit der gleichen Bakterienart in derselben Menge geimpft, in das Akkumulatorengefäſs gebracht wurde. Dieses war also bei derselben Temperatur, und während der gleiche Gasstrom hindurchlief, allen übrigen Einflüssen, abgesehen von der Belichtung, ausgesetzt wie das Versuchsröhrchen.

Das Gas wurde manchmal zuerst in das belichtete Rohr und dann aus diesem in das Kontrollrohr geleitet, bei anderen

Versuchen fand das Durchleiten in umgekehrter Richtung statt. Ein Einfluſs auf das Versuchsergebnis konnte in keinem Fall beobachtet werden.

Das Kontrollröhrchen wurde in einem Mantel von mehrfacher Bleifolie gegen die Lichtstrahlen geschützt. Um zu vermeiden, daſs geringe Mengen von Metall aus dem Bleimantel gelöst würden, und auf diese Weise in das Wasser der Zelle gelangten, wurde das Bleimantelröhrchen in ein etwas weiteres Reagenzglas gesetzt, das nun erst in das destillierte Wasser tauchte.

Die gröſste Sorgfalt wurde der Reinheit des Wasserstoffes gewidmet. Er wurde aus chemisch reinem Zink (Zinc metall. abs. chem. pur. pro. anal. Merk) durch eine verdünnte Schwefelsäure, die besonders zu diesem Zwecke von Kahlbaum bezogen war, entwickelt. Er wurde weiter mit alkalischer Bleilösung gewaschen und zur Zurückhaltung der durch die Gasentwicklung immer entstehenden feinsten Tröpfchen durch ein langes Wattefilter filtriert. Die Filtration ist stets nötig, wenn man Gase, die man aus Flüssigkeiten entwickelt, mit Sicherheit frei von übergerissenen Tröpfchen haben will. Das Durchleiten durch Waschflaschen ist sehr zweckentsprechend, wenn man gasförmige Verunreinigungen zurückhalten will, es ist jedoch relativ wirkungslos, wenn es gilt, kleine Flüssigkeitstropfen oder feinste feste Körper zurückzuhalten, insoweit diese Produkte nicht infolge ihrer Tension eine Absorption erleiden.

Nach der Filtration passierte der Wasserstoffstrom ein schwer schmelzbares Glasrohr, das dicht mit feinen, aus elektrolytischem Kupfer hergestellten Spänen gefüllt war, und das durch eine Reihe daruntergestellter Gasbrenner auf mäſsige Rotglut erhitzt wurde.

Dieses Rohr hatte den Zweck, die letzten Reste Sauerstoff aus dem Wasserstoff zu entfernen.

Da es uns in erster Linie darauf ankam, den Wasserstoff so weit als irgendmöglich frei von Sauerstoff zu erhalten, war es nicht angängig, bei diesen Versuchen die Einleitungsrohre unter sich und mit dem Kupferrohr durch Gummischläuche zu verbinden, weil Gummischläuche Gase diffundieren lassen und

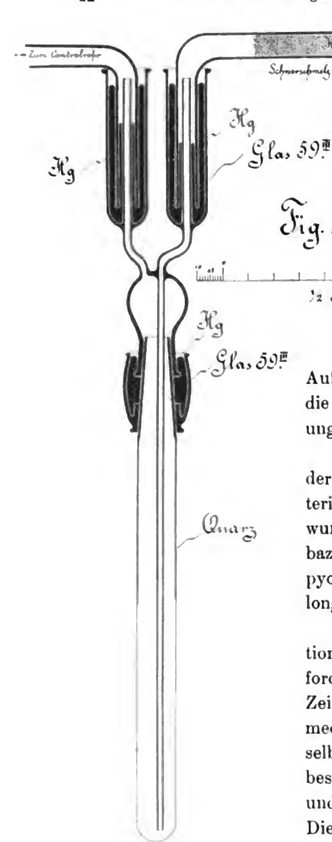
auch andere Stoffe an durchgeleitete Gase abgeben. Die Verbindung durch Schliffe hätte die ganze Apparatur zu starr und unhandlich gemacht; deshalb wurde die in Fig. 2 skizzierte Anordnung getroffen, bei der der Luftabschlufs durch Quecksilber bewirkt ist. Hierbei sind die die Einleitungs- und Ableitungsrohre tragenden Kappen auf die Quarzglasgefäfse aufgeschliffen, der Schliff ist abermals durch Quecksilber gedichtet, Kappe und Einleitungsrohre bestehen aus dem Schottschen Glas 59 III, das auch für andere Zwecke wegen seiner geringen Alkaliabgabe mit Vorteil angewandt wird.

Nachdem der Wasserstoff beide Röhrchen, das dem Licht ausgesetzte, sowie das Bleimantelrohr passiert hatte, wurde er durch ein langes Glasrohr zu einer weiteren Glocke und von da durch einen Gummischlauch unter Wasser geleitet, um immer in dem Apparat einen merklichen Überdruck gegenüber dem Atmosphärendruck zu unterhalten.

Es ist selbstverständlich, dafs der Wasserstoff vor der Belichtung stundenlang durch den Apparat geleitet wurde, um mit Sicherheit alle Luftreste daraus zu verjagen.

Durch die beschriebenen Vorsichtsmafsregeln glauben wir, Wasserstoff zur Anwendung gebracht zu haben, der praktisch frei von Sauerstoff war. Das Durchleiten des Wasserstoffes durch die flüssigen Nährlösungen dürfte auch hier den gelösten Sauerstoff in sehr weitgehendem Mafse entfernt haben, denn zweifellos wirkt ein Durchleiten durch Flüssigkeiten viel energischer als ein Überleiten über feste bzw. halbfeste starre Körper (wie Gelatine, Agar-Agar usw.).

Die Bakterienaufschwemmungen wurden in der Weise hergestellt, dafs von einer 24stündigen, schrägerstarrten Agar-Agarkultur eine etwa 1/4 cm im Durchmesser grofse Platinöse in 10 cm der betreffenden Nährlösung (Elbwasser, Kochsalzlösung usw.) eingebracht wurde. Nach 15—20 Minuten, d. h. nachdem alle festen Partikelchen, sowie auch die etwa mit eingebrachten abgestorbenen Keime zu Boden gefallen waren, wurden 10 Tropfen dieser Aufschwemmung in die Quarzreagenzrohre eingebracht.



Auf diese Weise wurde erreicht, dafs die Menge der eingebrachten Keime ungefähr immer die gleiche war.

Als Testobjekt wurde in weitaus der Mehrzahl aller Versuche das Bacterium coli comune verwendet, es wurden aber auch Typhus- und Cholerabazillen, ferner Bac. prodigiosus, Bac. pyocyaneus und Bac. fluorescens longus exponiert.

Für die Ermittelung der Absorptionen war ein Quarzspektrograph erforderlich, dessen optischer Teil von Zeifs geliefert wurde, während der mechanische im wesentlichen von uns selbst hergestellt wurde. Die Optik bestand aus einem Cornu schen Prisma und zwei Quarzflufsspatachromaten. Diese letzteren ermöglichen die Senkrechtstellung der Platte zur optischen Achse und vereinfachen hierdurch wesentlich die Konstruktion. Bei oberflächlicher Betrachtung könnte es erscheinen, als ob Ap-

parate mit einfachen Quarzlinsen vorteilhafter seien, weil diese durch die erforderliche Schrägstellung der Platte ein ausgedehnteres Spektrum ergeben. Dieser Schlufs wäre aber unzutreffend, weil ja nicht nur das Spektrum, sondern auch die Linien verbreitert werden, so dafs, ganz abgesehen von allem anderen, eine bessere Definition nicht erzielt wird.

Der mechanische Teil besteht aus einer kräftigen gufseisernen Platte, die einerseits das Kollimatorrohr mit dem einem Steinheil-Spektrographen entnommenen Spalt trägt, während anderseits Prismentisch und Kamera um zwei Konen drehbar sind und durch seitliche Schrauben nach der Einstellung fest angezogen werden können. Die Kamera ist mit einer Anzahl von Blenden, die nur die wirksamen Lichtbüschel durchlassen, versehen, so dafs bei Anwendung von Isolarplatten eine Verschleierung des weniger intensiven Gebietes durch die kräftiger wirkende Strahlung auch bei den längsten Expositionen nicht eintrat. Als Index für die Ausmessungen des Spektrums diente ein in ein Stanniolblatt geschnittener Spalt, der, von einer Auerlampe beleuchtet, mittels eines photographischen Objektivs in derselben Weise wie die Skala des Bunsenschen Spektralapparates auf die Platte projiziert wurde.

Die Auswertung des Spektrographen geschah u. a. mittels der Spektren des Ag, Cu, Zn, Hg, Na. Zur Ausmessung der Spektren diente eine einfache Teilmaschine. Die Linien waren meist genügend scharf, um mit einer Genauigkeit von einigen tausendstel Millimetern gemessen werden zu können.

Die Absorptionsbanden hingegen sind meist so unscharf, dafs hier diese Genauigkeit auch nicht annähernd erzielbar ist. Die auf die Lage der Absorptionsbanden bezüglichen Angaben können deshalb nur als Annäherungswerte betrachtet werden.

Versuchsergebnisse.

Durch die vielfachen neueren Arbeiten mit ultraviolettem Licht ist bekannt geworden, dafs Lichtquellen, die in erheblichem Mafse ultraviolette Strahlen aussenden, in ihrer Umgebung eine Veränderung der Luft hervorrufen, die sich uns schon durch

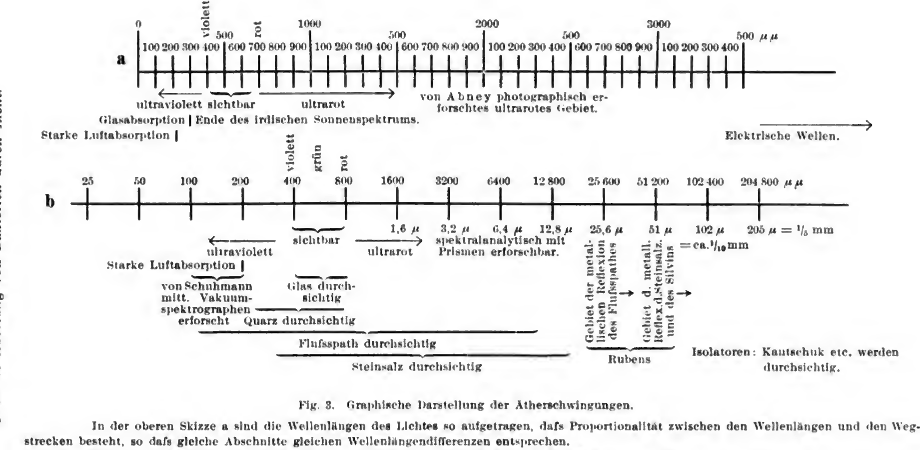


Fig. 3. Graphische Darstellung der Ätherschwingungen.

In der oberen Skizze a sind die Wellenlängen des Lichtes so aufgetragen, dafs Proportionalität zwischen den Wellenlängen und den Wegstrecken besteht, so dafs gleiche Abschnitte gleichen Wellenlängendifferenzen entsprechen.

In der unteren Skizze b entspricht jeder Abschnitt der doppelten Wellenlängendifferenz des vorhergehenden. Von Abschnitt zu Abschnitt steigen mithin immer die Wellenlängen auf das doppelte. Jeder Abschnitt ist demnach analog demjenigen Intervall, das man in der Akustik als Oktave bezeichnet.

Diese Darstellungsweise gestattet das grofse Gebiet auf eine kürzere Strecke zusammenzudrängen. Wollte man die obere Skizze bis zu dem in Skizze b wiedergegebenen Gebiete ausdehnen, so würde man sie etwa 60 mal so lang zeichnen müssen.

einen unter Umständen direkt belästigenden Geruch aufdrängt, und die im allgemeinen dem aus dem Sauerstoff der Luft gebildeten Ozon zugeschrieben wird. Dieser Geruch ist auch in unserer Wechselstrombogenlampe sehr deutlich wahrnehmbar. Es soll an dieser Stelle nicht auf die Frage eingegangen werden, inwieweit die Ozonerzeugung durch Lichtstrahlung geklärt ist. Zwei Momente treten jedoch deutlich hervor: Es ist kein Zweifel, dafs Ozon durch Licht nur dann gebildet werden kann, wenn das letztere Strahlen enthält, die innerhalb der Glasabsorption liegen, denn die Glasquecksilberbogenlampe zeigt auch, wenn sie aus Uviolglas hergestellt wird, nicht den auffallenden Geruch, den die Quarzquecksilberbogenlampe, insbesondere kurz nach ihrer Entzündung, hervorruft. Da ferner Ozon nur durch Energiezufuhr gebildet werden kann, so müssen die ozonerzeugenden Strahlen bei der Ozonbildung vernichtet werden. Es ist deshalb wahrscheinlich, dafs nur die von Sauerstoff in höherem Mafse absorbierbaren Strahlen Ozon erzeugen können. Die Wirkung einer ozonerzeugenden Lichtquelle müfste deshalb wesentlich schneller abnehmen, als dies das Gesetz $i = \frac{C}{s^2}$, worin s den Abstand der Lichtquelle, C eine von der Lichtquelle abhängige Konstante, und i die Intensität des Lichtes auf der bestrahlten Fläche bedeutet, verlangt. Es erscheint deshalb begreiflich, wenn charakteristische Ozonwirkungen, wie z. B. die Violettfärbung manganhaltiger Gläser, nur in unmittelbarer Nähe der Quecksilberbogenlampe auftreten, und es ist recht wohl möglich, dafs die Ozonbildung schon durch relativ kurze Luftstrecken sehr weitgehend vernichtet wird. Das photographische Sonnenspektrum hört, wie oben erwähnt, bei 300 $\mu\mu$ plötzlich auf. Es erscheint deshalb etwas auffallend, dafs — wie in früheren Arbeiten behauptet worden ist — diese Sonnenstrahlen dennoch Ozon erzeugen sollen, obwohl dies die Uviolquecksilberbogenlampe, deren Strahlen viel weiter in das Ultraviolett reichen, nicht in irgendwie erheblichem Mafse tut.

Wir haben in unserer Versuchsanordnung verschiedene Flüssigkeiten, teils destilliertes Wasser, teils physiologische Koch-

salzlösung, Elbwasser und Bouillon, und zwar letztere verdünnt 1 : 100 und 1 : 1000, sowohl geimpft als auch ungeimpft bis zu 9 Stunden lang dem Lichte der Kohlenbogenlampe ausgesetzt, unter Sauerstoffdurchleitung in der einen und Wasserstoffdurchleitung in der anderen Reihe der Versuche: wir konnten mit dem Schönbeinschen Reagens aber niemals Blaufärbung beobachten. Es geht also aus unseren Versuchen hervor, dafs bei der beschriebenen Anordnung ein oxydierender Einflufs des Lichtes auf das Wasser (Wasserstoffsuperoxydbildung) auch unter günstigsten Versuchsbedingungen (Sauerstoffdurchleitung), selbst mit so empfindlichen Reagentien wie das Schönbeinsche, nicht nachweisbar ist.

Es ist uns weiter aber auch nicht gelungen, einen positiven Ausfall der Schönbeinschen Reaktion zu erlangen, wenn wir genau nach der Angabe von Dieudonné Agar-Agarplatten nach 2—5stündiger Belichtung durch direktes Sonnenlicht im September und Oktober, halb mit schwarzem Papier bedeckt, halb offen, exponierten, und danach mit Schönbeinschem Reagens behandelten. Es war auch vollkommen gleichgültig, ob wir die Platte offen dem Sonnenlichte aussetzten oder mit dem Glasdeckel bedeckten. Auf einer der offen exponierten Platten hatte sich ein besonders grofser Rufsflocken aufgelagert. In diesem Falle schien es, als ob das Reagens in der Umgebung dieser Flocke für einige Sekunden schwach bläulich geworden sei. Eine Bedeutung wird diesem Ergebnis aber wohl niemand beilegen, da die Empfindlichkeit der Schönbeinschen Reaktion einerseits und die Zusammensetzung der Produkte, die wir für gewöhnlich Rufs nennen, anderseit bekannt ist.

Kontrollplatten ergaben, dafs auf der belichteten Seite der Platte die eingesäten Bakterien (prodigiosus, pyocyaneus und coli) ausnahmslos abgetötet waren. Das Ergebnis war übrigens das gleiche, wenn wir unbesäte Agar-Agarplatten dem Sonnenlichte aussetzten.

Wir konnten auch die andere Behauptung Dieudonnés nicht bestätigt finden, wonach es bei der Abtötung der Bakterien durch Licht von bedeutendem Einflufs ist, ob Sauerstoff der

Luft zugegen ist oder vollständig ausgeschlossen wird. Bei unseren Versuchen war es gleichgültig, ob wir die Bakterien aerob oder anaerob hielten; die Zeiten, innerhalb deren sie abgetötet wurden, waren gleich. Hierbei ist wohl zu beachten, dafs unser Wasserstoff so rein, insbesondere sauerstofffrei war, als wohl noch niemals der für frühere bakteriologische Versuche benutzte.

Wir kommen demnach auf Grund unserer Versuche zu dem Ergebnis, dafs bei der Abtötung der Bakterien durch Licht ein indirekter Einflufs des Lichtes durch Oxydation des Wassers (Wasserstoffsuperoxyd) nicht nachweisbar ist.

Als wir die nach Schönbein mit negativem Erfolg geprüften Röhrchen schwach ansäuerten, trat in manchen eine Bläuung der Aufschwemmung von wechselnder Intensität auf. Diese Erscheinung veranlafste uns, weitere Versuche anzustellen, um den Inhalt der Röhrchen nach der Exposition auf salpetrige Säure prüfen zu können.

Von den Reagentien, die uns zur Erkennung der salpetrigen Säure dienen, scheinen die, bei denen die Farbstoffbildung auf der Erzeugung von Diazokörpern durch salpetrige Säure beruht, am ersten geeignet, eine Verwechslung mit anderen oxydierenden Verbindungen zu verhindern. Es wurde deshalb der von Erdmann empfohlene Nachweis, der auf der Kuppelung des Diazokörpers mit der sog. K-Säure beruht, angewendet. Bei einigen Versuchen griffen wir aufserdem zu dem Sulfanil-Naphthylamin.

Es stellte sich heraus, dafs bei Verwendung von physiologischer Kochsalzlösung die Erdmannsche Reaktion nach der Belichtung nur dann positiv ausfiel, wenn sie mit irgendwelcher Bakterienaufschwemmung geimpft war. Bei Bouillon 1 : 1000 hingegen und Elbwasser erhielten wir, auch wenn sie steril unter Sauerstoff- oder Wasserstoffdurchleitung dem Lichte selbst nur $1\frac{1}{2}$ Stunden exponiert worden waren, einen positiven Ausfall der Reaktion. Physiologische Kochsalzlösung ist bei der Reinheit der zu ihrer Herstellung benutzten Präparate praktisch frei von chemisch gebundenem Stickstoff. Bouillon und Elb-

wasser sind dies natürlich nicht und auch die physiologische Kochsalzlösung erhält durch die Mischung mit Bakterien einen wenn auch nur geringen Stickstoffgehalt. Das Auftreten der Erdmannschen Reaktion ist eine immerhin auffällige Erscheinung, aus der wir aber besondere Schlüsse zu ziehen vorläufig nicht beabsichtigen.

Nachdem wir nachgewiesen hatten, dafs bei unserer Versuchsanordnung die Abtötung der Bakterien lediglich durch die Lichtstrahlen erfolgte, suchten wir festzustellen, welches Strahlengebiet im wesentlichen das wirksame ist.

Bezüglich der Zeit, innerhalb welcher die Bakterien in unserm Quarzrohr der strahlenden Energie erliegen, sei bemerkt, dafs uns dies innerhalb 15 Minuten mit der Kohlen-, und 7 $^{1}/_{2}$ Minuten mit der Quecksilberbogenlampe gelang. Dieser stärkere Effekt der letzteren kam dadurch zustande, dafs es uns möglich war, sie der Quarzscheibe bis 4 $^{1}/_{2}$ cm zu nähern.

Man wird nicht fehlgehen in der Annahme, dafs die Abtötung der Bakterien, wenn sie derartig isoliert den Lichtstrahlen exponiert werden, wie in unseren Versuchen, in noch viel kürzerer Zeit erfolgt. Es ist dies aber nicht nachzuweisen, weil einzelne Bakterien immer die Möglichkeit hatten, sich vor den Strahlen zeitweise zu schützen. Durch die in der Bakterienaufschwemmung aufsteigenden Gasblasen wurden z. B. immer einige Bakterien mit kleinen Tröpfchen emporgerissen. Sie blieben an der Gefäfswand oberhalb der belichteten Zone hängen und entgingen dadurch bei kurzdauernder Belichtung der Abtötung. Wenn wir auch diesem Übelstand durch Verringerung der Flüssigkeitsschicht zu steuern suchten, liefs er sich doch nicht gänzlich beheben. Weiter ist zu erwähnen, dafs die das Gas in die Bakterienaufschwemmung einführende Kapillare aus gewöhnlichem Glas bestand. In ihrem Lumen und ihrem Schatten fanden einzelne Bakterien ebenfalls zeitweilig Schutz.

Bei Verwendung von einer Bouillon in der gewöhnlichen Konzentration gelang es nicht, die darin suspendierten Keime, selbst bei mehrstündiger Exposition, irgendwie zu beeinflussen. Sie hielten eine Belichtung von selbst 3 Stunden und mehr aus, und es konnte nach dieser Zeit, gleichgültig ob Sauerstoff- oder

Wasserstoffdurchleitung stattfand, auch eine Verminderung der eingesäten Keime nicht beobachtet werden.

Es ist dies das gleiche Ergebnis, wie es schon in früheren Arbeiten anderer Autoren niedergelegt ist. Ein Blick auf die beigegebenen Absorptionsspektren zeigt den Grund.

Die Unmöglichkeit, Keime in diesem Nährboden durch ultraviolette Strahlen abzutöten, beruht eben darauf, dafs die letzteren von dem Nährboden absorbiert werden und überhaupt nicht in ihn hineingelangen können.

Durch die Versuche mit konzentrierter Nährbouillon hatten wir erfahren, dafs die durch Bouillon dringenden Strahlen an der Abtötung der Bakterien durch Licht unbeteiligt sind. Wir schalteten nun eine Spiegelglasscheibe von 0,135 cm Dicke zwischen Quarzplatte und Lichtquelle ein und versuchten zu beobachten, ob die in Elbwasser und physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmten Keime im belichteten Quarzrohr leben blieben. Wir mufsten hierbei die Erfahrung machen, dafs die eingesäten Keime in den wenige Nährstoffe bietenden Flüssigkeiten die lange Einwirkung der Wasserstoffdurchleitung nicht vertrugen. Selbst die für gewöhnlich als fakultativ anaerob bezeichneten Bakterienarten, wie Koli und Typhus, gingen schon nach 9stündiger Durchleitung von Wasserstoff in Elbwasser und physiologischer Kochsalzlösung auch ohne Belichtung zugrunde. Zu diesem Ergebnis gelangten wir auf Grund von mehr als 30 Versuchen, die wir mit Elbwasser oder Kochsalzlösung einerseits und Typhus- oder Kolibakterien anderseits unter Einleitung von Wasserstoff anstellten. Letzterer wurde entweder in der beschriebenen Weise im Kippschen Apparat aus Zink und Schwefelsäure oder elektrolytisch gewonnen.

Aus diesem Grunde haben wir Elbwasser und physiologische Kochsalzlösung als Aufschwemmungsmittel später überhaupt nicht mehr verwendet, wir griffen vielmehr zu starken Verdünnungen von Bouillon. Wie die Spektrogramme lehren, ist Bouillon in Verdünnung 1 : 100 und besonders in solcher von 1 : 1000 für ultraviolette Strahlen sehr gut durchlässig. Wir verwendeten deshalb für unsere Versuche ausschliefslich Bouillon 1 : 1000, die

vollkommen genügende Nährstoffe enthält, um Bakterien lebensfähig zu erhalten und um zu verhindern, dafs diese selbst bei langandauernder (24stündiger) Durchleitung von Wasserstoff Schaden erleiden.

Wir konnten nun beobachten, dafs in unserem Quarzrohr nach Zwischenschaltung der Spiegelglasscheibe die Bakterien selbst durch 24 Stunden lang andauernde Einwirkung des Kohlenbogenlichtes in keiner Weise beeinflufst waren. Durch diesen in kürzeren Zeiten (bis zu 10 Stunden) mehrmals mit dem gleichen Ergebnis wiederholten Versuch gelangten wir zu dem Ergebnis, dafs die Strahlen, welche Bakterien in ihrer Lebenstätigkeit zu beeinflussen vermögen, jenseits der Glasabsorption liegen müssen.

Um diese Strahlen möglichst genau herauszufinden, brachten wir in das Akkumulatorengefäfs statt des destillierten Wassers verschiedene Salzlösungen, deren Absorptionsbanden mit dem oben erwähnten Spektrographen festgestellt wurden. Die meisten wässerigen Lösungen von Salzen haben nämlich die bekannte Eigenschaft, auch wenn sie dem Auge vollkommen farblos und durchsichtig erscheinen, für gewisse Bezirke des Ultravioletts mehr oder minder undurchlässig zu sein. Durch Vorschaltung solcher Lösungen sind wir also in der Lage, bestimmte Teile des Ultravioletts abzublenden.

Wenn trotz der Vorschaltung einer solchen Salzlösung bestimmter Konzentration, z. B. Lösung a, die Abtötung durch das Licht erfolgt, so ist daraus zu schliefsen, dafs die von dieser Lösung a absorbierten Strahlen nicht hervorragend an der bakteriziden Wirkung des Lichts beteiligt sind. Wenn aber bei Verwendung einer anderen Salzlösung, z. B. Lösung b, die Bakterien trotz Belichtung am Leben bleiben, so mufs Lösung b die besonders wirksamen Strahlen absorbieren. Das wirksame Spektralgebiet ist dann dasjenige, welches von b absorbiert, von a jedoch unbehindert hindurchgelassen wird.

Durch Verwendung verschiedener Salzlösungen hat man es in der Hand, das wirksame Spektralgebiet einzugrenzen.

Sehr weitgehend absorbieren Lösungen von salpetersauren Salzen ultraviolette Strahlen (vgl. Spektrogramme Nr. 21 und 22, welche die Absorption des Wassers und einer 10 proz. Kalisalpeterlösung darstellen).

Als das Akkumulatorengefäſs mit dieser Lösung gefüllt war, trat auch nach zweistündiger Einwirkung des Lichts der Bogenlampe keine Abtötung ein.

Ebenso verhielten sich die Bakterien in dem Lichte, das eine 10 proz. Oxalsäurelösung passiert hatte, obwohl diese Lösung mehr ultraviolette Strahlen durchläſst (vgl. Spektrogramme Nr. 23 und 24). Dagegen konnte die Vorschaltung einer 10 proz. Lösung von kristallisiertem Dinatriumphosphat die Abtötung nicht verhindern. Ebenso verhielt sich eine 10 proz. Lösung von Rhodankalium, dessen Absorptionsbande im Ultraviolett weiter nach dem rotem Teile reicht als die des Natriumphosphats (vgl. Spektrogramme Nr. 25—27).

Wenn man die Spektrogramme dieser verschiedenen Flüssigkeiten betrachtet, so sieht man, daſs die Absorptionsbande der Oxalsäure weiter nach dem roten Teil reicht als die des Rhodankaliums (und natürlich auch die des phosphorsauren Natrons). Der Teil des Spektrums von Beginn der Oxalsäureabsorption bis zu Beginn der Rhodankaliumabsorption muſs also in erheblichem Maſse die Fähigkeit besitzen, Bakterien zu töten. Die spektrogrammetrische Auswertung ergibt für Oxalsäure etwa 300 $\mu\mu$, für Rhodankalium etwa 265 $\mu\mu$. Es ist deshalb zu schlieſsen, daſs den Strahlen des Bogenlichtes zwischen 265 und 300 $\mu\mu$ eine erhebliche bakterizide Wirkung innewohnt. In diesem Gebiete liegt ein von Rubens und Hagen gemessenes Intensitätsmaximum des Kohlebogenlichts 288 $\mu\mu$ (cf. Spektrogramme Nr. 28—34). Es ist nicht unwahrscheinlich, daſs dieses Maximum an der bakterientötenden Wirkung hervorragend beteiligt ist.

Hierbei ist jedoch zu erwähnen, daſs diese letzteren Versuche mit einer Belichtungsdauer von einer Stunde vorgenommen wurden, während die Abtötung ohne Absorptionsmittel schon in kürzerer Zeit erfolgt (vgl. S. 48). Das erhaltene Resultat muſs deshalb vorläufig in erster Linie als qualitatives betrachtet werden.

Quantitative Messungen über die Wirksamkeit einzelner Spektralbezirke werden übrigens auch dadurch erschwert, dafs wir im ultravioletten Gebiete mit unseren heutigen Hilfsmitteln ein kontinuierliches Spektrum, wie es von genügend erhitzten festen oder flüssigen Körpern ausgestrahlt würde, nicht erzeugen können. Wir kennen heute noch keine Körper, die die erforderliche hohe Temperatur ohne Schmelzung bzw. Verdampfung aushalten. Wir sind deshalb, wenn wir weit in das Ultraviolett vordringen wollen, auf die Emissionsspektra von Dämpfen angewiesen. Diese geben aber diskontinuierliche Spektra (Linien- oder Bandenspektra), bei denen Zahl und Lage der einzelnen Linien in der aus der Spektralanalyse genügend bekannten mannigfachen Weise — von der im sichtbaren Teile fast monochromatischen Strahlung des Natriumlichtes bis zu den aus zahllosen Linien bestehenden Spektren des Eisens und Platins etc. — wechseln.

Sehr verschieden ist ferner die Intensität der einzelnen Spektrallinien eines bestimmten Dampfes und diese Intensität ist auch wechselnd je nach den Umständen, unter denen das Spektrum entsteht.

So emittiert der in einer Bunsenflamme glühende Natriumdampf bekanntlich fast monochromatisches Licht von etwa 589 $\mu\mu$ Wellenlänge, während im Bogenspektrum noch eine ganze Anzahl Linien zu den D-Linien hinzutreten. Selbst der Unterschied zwischen Funkenspektren und Bogenspektren ist oft so erheblich, dafs man auf den ersten Anblick glauben kann, das Spektrum eines ganz anderen Metalls zu sehen. Je nach Temperatur, Druck etc. des glühenden Gases wechseln Breite und Intensität. Linien, die unter gewissen Bedingungen kaum oder nicht sichtbar waren, werden unter anderen zu Hauptlinien.

Schon wenn man nur an die durch die Kohlen bedingten Verschiedenheiten der Bogenlampen denkt, wird man zugeben müssen, dafs durch die zufälligen oder absichtlichen (Dochtkohlen) Verunreinigungen der Kohlen eine verschiedene Energieverteilung im Ultraviolett hervorgerufen werden kann.

Nachdem es uns mit den vorbeschriebenen Versuchen gelungen war, durch mehr oder minder weitgehende Abblendung

des ultravioletten Teiles des Spektrums dasjenige Spektralgebiet zu finden, durch dessen Abblendung die bakterienschädigende Wirkung des Lichtes sehr weitgehend herabgesetzt wird, so versuchten wir den sichtbaren Teil des Spektrums auszuschalten und so gewissermafsen von der anderen Seite des Spektrums her eine Blende einzuschieben. Die Auffindung von Körpern, die die sichtbaren Strahlen des Spektrums absorbieren und die des Ultravioletts durchlassen, ist schwerer, als die von Ultraviolett absorbierenden Medien.

Das Ultraviolettfilter von Wood ist selbst in Konzentrationen, die schon stark im Ultraviolett absorbieren, noch für sichtbare Strahlen sehr gut durchlässig. Wood hebt diese Durchlässigkeit durch Vorschaltung farbiger Gläser auf. Hierdurch werden natürlich aber auch die Strahlen, die innerhalb der Glasabsorption liegen, zurückgehalten.

Das Ultraviolettglas von Schott erscheint in dicken Schichten dem Auge dunkelviolett gefärbt. Bei dieser Dicke absorbiert es aber das Ultraviolett etwa ebenso stark, wie es unsere dünne Spiegelscheibe tut.

Diese beiden Ultraviolettfilter waren deshalb für unsere Versuche nicht verwendbar.

Weitere Versuche haben nun gezeigt, dafs das blaue Steinsalz, wie es sich in manchen Salzbergwerken findet, ein sehr günstiges Ultraviolettfilter ist. Der eine von uns war so glücklich, durch die Güte des Herrn Dr. Kubierschky ein Stück blaues Steinsalz zu erhalten, das, selbst gegen die Sonne gehalten, undurchsichtig erschien und doch sehr durchlässig für Ultraviolett war. In den Spektrogrammen 35—37 sind die Absorptionsspektren dieser drei besprochenen Filter wiedergegeben.

Die Beschaffung gröfserer Steinsalzstücke von tiefblauer Färbung war durch den Umstand, dafs solche Stücke jetzt nur selten gefunden werden, sehr erschwert. Nach verschiedenen vergeblichen Bemühungen erhielten wir durch das Entgegenkommen des Kaliwerkes Stafsfurt einige Stücke tiefblauen Steinsalzes, aus denen sich durch Schleifen und Zusammenkitten eine genügend grofse Scheibe herstellen liefs. Leider war dieses Stein-

salz nicht ganz so dunkel wie das oben zuerst erwähnte Stück. Die Platte liefs noch etwas blaues Licht hindurch, wenn auch so wenig, dafs man den dahinter befindlichen Raum als sehr dunkel bezeichnen konnte.

Mit dieser Platte führten wir nun einige Versuche aus, indem wir sie zwischen die Quarzquecksilber-Bogenlampe oder Kohlebogenlampe und die unser Versuchsgefäfs verschliefsende Quarzscheibe brachten, während Versuchs- und Kontrollrohr in der üblichen Weise gekühlt wurden.

Man kann bei dieser Versuchsanordnung nicht erwarten, ebenso kurze Abtötungszeiten, wie bei direkter Bestrahlung zu erreichen, weil das blaue Steinsalz von Spalten und Einschlüssen durchsetzt ist, welche eine erhebliche Lichtmenge durch Reflexion unwirksam machen.

Es ergab sich, dafs bei einer Entfernung von 20 cm zwischen Kohlebogenlampe und Quarzplatte die Kolibakterien nach zweistündiger Belichtung vollkommen abgetötet waren.

Bei Bestrahlung mittels der Quarzquecksilber-Bogenlampe aus einer Entfernung von 5 cm vor der Quarzplatte (7 cm vor dem Versuchsröhrchen) war Abtötung sowohl nach zweistündiger, als nach einstündiger Exposition eingetreten. Nach halbstündiger Bestrahlung zeigte die von dem belichteten Rohr gegossene Platte eine starke Abminderung der Keime (von 650 im qcm auf der Platte vorher, auf 37 nachher). Es war auf den Inhalt der Rohre berechnet eine Verminderung von 200000 entwicklungsfähigen Keimen auf 10000 eingetreten.

Durch diese Versuche ist es also gelungen, auch direkt die bakterienschädigende Wirkung des ultravioletten Lichtes zu zeigen. Bei Verwendung genügend dunkel gefärbten Steinsalzes ist also die Möglichkeit gegeben, selbst in einem Raume, der dem Auge vollkommen finster erscheint, Bakterien durch Licht abzutöten.

Erklärung zu den Spektrogrammen (Tafel I—III).

Q·Hg·B·L bedeutet Quarz-Quecksilber-Bogen-Lampe,
I·F » Induktionsfunke.

Die kursiv gedruckten Zeiten geben die Belichtungsdauer wieder. In den zweiten Zeilen sind die Schichtendicken der Absorptionsmittel in mm vermerkt, z. B. Spektrogramm Nr. 20:

Die Erklärung: »Zink, I·F, 2½ *Min.*
5 mm Blutserum 1 : 100«

bedeutet:

»Spektrum des Zink, erzeugt durch Induktionsfunken zwischen Zinkelektroden. Belichtungsdauer: 2½ Minuten. Vorgeschaltet: Eine fünf Millimeter dicke Schicht von Blutserum in einer Verdünnung 1 : 100; diese Schicht entspricht einem 0,05 mm dicken Häutchen unverdünnten Serums.

Über den Einflufs der Erschöpfung auf die Keimdurchlässigkeit des Intestinaltraktus.

Von

Prof. **M. Ficker.**

(Aus dem Hygienischen Institut der Universität Berlin. Direktor: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. M. Rubner.)

So sicher es ist, dafs Inanitionszustände die Entstehung von Infektionen, insbesondere auch von intestinalen, begünstigen, so mufs es doch auffallend und auf den ersten Blick rätselhaft erscheinen, dafs auch die bestgenährten und kräftigen Organismen für manche solcher Infektionen eine hohe Empfänglichkeit aufweisen. Wir wissen, dafs der Mensch in den besten Jahren am meisten für Typhus disponiert ist, und dafs auch unter einer ausgesuchten Mannschaft, die die Blüte der Kraft einer Nation darstellt, der Typhus in manchem Kriege und bis in die neueste Zeit hinein nicht viel weniger Opfer niederwirft, als es die feindlichen Geschosse tun. Im Feldzug vollziehen sich gewifs besonders leicht Kontaktübertragungen. Aber sie erklären das, was wir Disposition nennen, doch nicht ausreichend, denn Gelegenheit zu innigem Kontakt ist auch unter anderen Verhältnissen genugsam gegeben, und ferner wissen wir ja schon heute, obwohl der Nachweis der Typhusbazillen in den Fäces immer noch technischer Verfeinerung bedarf, dafs die Erreger des Typhus auch bei Gesunden zu finden sind, dafs also die Kontaktübertragung allein noch keinen Typhus nach sich zu

ziehen braucht. Um so mehr müssen wir denjenigen Momenten nachgehen, die der infizierenden Fähigkeit der in den Intestinaltraktus aufgenommenen Keime zu Hilfe kommen und die Schutzkräfte des Organismus lahm legen.

In dieser Hinsicht scheinen die Anamnesen darauf hinzudeuten, dafs in den zu Erschöpfung führenden körperlichen Überanstrengungen bei der Entstehung von Darminfektionen, speziell von Typhus, ein disponierender Faktor zu suchen ist.

Den Einflufs der Erschöpfung bzw. der Ermüdung auf die Entwickelung von Infektion prüften bisher nur Charrin und Roger[1]) an weifsen Ratten, die in der rotierenden Trommel ermüdet worden waren, diese waren leichter empfänglich für Milzbrand als Kontrolltiere.

Wie ich in einer voraufgehenden Arbeit[2]) ausführte, mufs es vorteilhaft erscheinen, für solche der Disposition nachgehenden Versuche zunächst den komplizierenden Begriff der Infektion bzw. Virulenz beiseite zu lassen. Es wurde daher auch für die vorliegenden Versuche der Weg eingeschlagen, dafs an Versuchstiere, die körperlichen Anstrengungen auszusetzen waren, vorher saprophytische Keime verfüttert wurden, nach denen sodann im erschöpften Organismus zu suchen war. Auch hier mufste es des weiteren rätlich erscheinen, von der Keimverfütterung Abstand zu nehmen und vielmehr Blut und Organe des der Anstrengung ausgesetzten Tieres auf Bakterien, speziell auf Darmbakterien, zu prüfen. Das geeignetste Versuchstier schien mir der Hund zu sein. Einmal kann er in der Tretmühle zu körperlichen Anstrengungen leicht gebracht werden, sodann war mir durch frühere Versuche[3]) bekannt, welche ausnehmend starke

1) Charrin A. et G. H. Roger, Contribution à l'étude expérimentale du surmenage, son influence sur l'infection. Arch. de phys. norm. et path., 1890, Nr. 2.

2) Ficker M., Über den Einflufs des Hungers auf die Bakteriendurchlässigkeit des Intestinaltraktus. Diese Zeitschr. Bd. LIV, S. 354.

3) Ficker M., Über die Keimdichte der normalen Schleimhaut des Intestinaltraktus. Diese Zeitschr. Bd. LII, S. 179.

Widerstandsfähigkeit der Magendarmkanal gerade des Hundes gegenüber bakteriellen Invasionen besitzt, so dafs es bis zu einem gewissen Grade statthaft erscheinen mufs, solche am Hunde gewonnene Resultate als Paradigma für die Verhältnisse bei anderen Organismen zu betrachten.

Hinsichtlich der angewandten Methodik verweise ich auf die in dieser Zeitschrift, Bd. 52, S. 180 ff., und Bd. 54, S. 355 ff., geschilderten Versuchsanordnungen. Es kamen nur kräftige, erwachsene, würmerfreie Hunde zur Verwendung. Für die Versuche benutzte ich mit gütiger Erlaubnis des Herrn Geheimrat Engelmann, dem ich hierfür den verbindlichsten Dank sage, die mit elektrischem Motor getriebene Tretmühle des hiesigen physiologischen Instituts, die bei einer Bahnlänge von 3,5 m bei den Versuchen 1—5, 9—14 in der Minute eine Umdrehungsgeschwindigkeit von 33, bei den übrigen Versuchen eine solche von 27,5 besafs, das entspricht einer Laufgeschwindigkeit von 115,5 bzw. 96,3 m in der Minute.

1. Terrier, 6,1 kg, Alter unbekannt, erhält $^1/_2$ kg Pferdefleisch mit 1 Agarschale (16 cm Durchmesser, 16 Std. 27°) Roten Kieler, ruht danach $^1/_2$ Std.; nun 1 Std. Tretmühle unausgesetzt, danach sofort entblutet von rechter Karotis aus. Von den Organen, Bronchial- und Mesenterialdrüsen, sowie vom Blut werden insgesamt ca. 120 Bouillonröhrchen geimpft.

Resultat: In 2 von 6 Lungenröhrchen geht Roter Kieler an, in keinem andern der übrigen Röhrchen.

2. Teckel, 6,7 kg, Alter unbekannt, erhält mit $^1/_2$ kg Pferdefleisch 2 Agarplatten Roten Kieler (36 Std. 27°, Durchmesser der Platten 16 cm), ruht nach dem Füttern 1 Std., danach $1^3/_4$ Std. Tretmühle unausgesetzt. Wie sonst entblutet. Beschickt werden mit Organteilen, Mesenterial- und Bronchialdrüsen, sowie mit Blut ca. 100 Röhrchen.

Resultat: In 2 von 5 Lungenröhrchen ist Roter Kieler gewachsen, sonst nirgends.

3. Teckel, 5,1 kg, $^5/_4$ Jahre alt, erhält mit 1 kg Pferdefleisch 4 Agarplatten Roten Kieler (Durchmesser 9 cm, 16 Std. 27°). Ruht nach dem Füttern 3 Std., danach 3 Std. unausgesetzt Tretmühle. Sodann entblutet. Beschickt werden ca. 140 Röhrchen.

Resultat: In 2 von 6 Lungenröhrchen geht Roter Kieler an, sonst nirgends.

4. Terrier, 7,7 kg, 3 Jahre alt, früh wie gewöhnlich mit Hundekuchen (ohne Roten Kieler) gefüttert, von $9^1/_2$ bis $3^1/_2$ Uhr Tretmühle mit Einschal-

tung von zwei ca. 10 Min. langen Pausen. Zeigt sehr starke Erschöpfung, fällt gegen Ende der Laufzeit mehrmals hin. $3^1/_2$ Uhr entblutet.

Resultat: a) Blut. Geimpft 37 Röhrchen, davon bleiben 35 steril, 1 enthält Subtilis, 1 Staphylokokken. b) Milz. Geimpft 15 Röhrchen, davon bleiben steril 14, 1 enthält Staphylokokken. c) Nieren. Geimpft 16 Röhrchen, davon steril 13, 1 enthält Bact. coli, 2 Staphylokokken. d) Leber. Geimpft 53 Röhrchen, davon steril 41, 2 enthalten Bact. coli, 1 Proteus, 1 sporenbildendes, nicht zur Subtilisgruppe gehöriges Stäbchen, 3 Streptokokken, 3 Staphylokokken, 1 Staphylokokken, die nur bei 37°, nicht bei 22° wachsen, 1 Schimmel. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 9 Röhrchen, davon enthalten 2 Bact. coli, 1 aufser Koli noch Staphylokokken, Staphylokokken allein in 2 Röhrchen, in 3 Röhrchen Streptokokken, 1 Sarcine. f) Lunge. Nicht untersucht. g) Bronchialdrüsen. Geimpft 6 Röhrchen, bleiben steril.

5. Terrier, 8,1 kg, $1^1/_2$ Jahre. Läuft am ersten Tage 7 Std. mit zweimal viertelstündigen Pausen, am zweiten Tage $6^1/_2$ Std. Läuft bis zum Schlufs gut, zeigt geringgradige Erschöpfung und vermag die Kellertreppe gut hinaufzulaufen. Danach sofort entblutet.

Resultat: a) Blut. Geimpft 49 Röhrchen, davon bleiben steril 43, 2 enthalten Subtilis, 1 Mykoides, 1 Bact. coli, 1 Proteus, 1 Staphylokokken. b) Milz. 10 Röhrchen geimpft, steril bleiben 7, 2 enthalten Streptokokkus a (vgl. unten), 1 Staphylokokken. c) Nieren. 15 Röhrchen geimpft, davon bleiben 2 steril, 2 enthalten Bact. coli, 2 Proteus, 1 sporenbildendes Stäbchen mit Spindelformen, 3 enthalten Staphylokokken, 3 Streptokokken a, 2 Streptokokken b. d) Leber. Geimpft 59 Röhrchen, steril 48, in 3 Bact. coli, in 2 Proteus, in 3 Staphylokokken, in 1 Streptokokkus a, in 1 Streptokokkus b, in 1 Sarcine. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 24, davon enthalten 18 Bact. coli, 3 Proteus, 1 Staphylokokken, 1 Streptokokken a, 1 Subtilis. f) Lunge. Geimpft 8 Röhrchen, davon 3 Staphylokokken, 2 Streptokokken b, 1 Subtilis, 2 Schimmel. g) Bronchialdrüsen. Geimpft 21 Röhrchen, steril bleiben 18, 1 enthält Subtilis, 1 Staphylokokken, 1 nicht näher identifizierte Diplokokken (keine Pneumokokken).

6. Terrier, 6,3 kg, ca. 2 Jahre, läuft am ersten Tage 5, am zweiten Tag 5, am dritten Tag 6 Std. in der Tretmühle. Die Laufzeit wird durch je eine viertelstündige Pause unterbrochen. Vom zweiten zum dritten Tag erhält der Hund kein Futter. Läuft gut und zeigt nur geringgradige Erschöpfung. Entblutung sofort nach dem letzten Laufen.

Resultat: a) Blut. Geimpft 31 Röhrchen, steril 27, 1 enthält Subtilis, 1 Proteus, 2 Streptokokken b. b) Milz. Geimpft 9 Röhrchen, steril 6, 1 enthält Streptokokken a, 1 Staphylokokken, 1 meningokokkenähnlichen Keim, der aber schon bei Zimmertemperatur stark wächst. c) Nieren. Geimpft 11 Röhrchen, steril 8, 1 Staphylokokken, 1 Diplokokken wie bei Milz, 1 Streptokokkus a. d) Leber. Geimpft 32 Röhrchen, steril 16, 4 Staphylokokken, 3 Streptokokken a, 1 Streptokokken b, 1 Proteus, 2 Bact. coli, 1 sporenbildende Stäbchenart (nicht Subtilis), 4 Röhrchen wurden anaerob

gehalten, in 2 derselben gehen Streptokokken a an, in den andern beiden sporenbildende Stäbchenart mit Spindelformen. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 29 Röhrchen. Davon enthalten 10 Bact. coli, 2 Mischung von Koli mit Staphylokokken, 3 Proteus, 2 Subtilis, 6 Staphylokokken (mehrere Arten), 2 Streptokokken a, 2 eine nicht näher identifizierte Diplokokkenart, 1 Sarcine, 1 Schimmel. f) Lunge. Geimpft 7 Röhrchen, steril bleibt 1, 2 Subtilis, 1 Friedländerähnlicher Kapselbazillus, 1 nur bei 37° züchtbares kleinstes Stäbchen, 1 nicht virulenter Diplokokkus, kulturell wie Diploc. Fränkel pneumoniae, 1 Schimmel. g) Bronchialdrüsen. Geimpft 5 Röhrchen, 3 steril, 2 enthalten dieselben Diplokokken wie Lunge.

Blinder Versuch (vgl. unten): Mit steriler Rindsleber werden unter den gleichen Manipulationen 56 Röhrchen geimpft. Nach 14tägiger Beobachtung bei 37° sind 2 Röhrchen verunreinigt, 1 mit Staphylokokken, 1 mit Schimmel.

7. Teckel, ca. 6 kg, ca. 4 Jahre alt. Läuft am ersten Tage 5, am zweiten Tage 3 Std., ermüdet leicht, so dafs mehrmals pausiert werden mufs. Legt sich öfters auf die Seite und ist am zweiten Tage nicht länger zum Laufen zu bringen. Frifst zwischen den beiden Laufzeiten nur wenig. Entblutet sofort nach dem letzten Laufen.

Resultat: a) Blut. Geimpft 15 Röhrchen, steril 12, 1 enthält Staphylokokken, 1 Diplo-Streptokokken (nicht pathogen, im übrigen wie Dipl. pneum. Fränkel), 1 Subtilis. b) Milz. Geimpft 11 Röhrchen, steril 5, 3 enthalten Bact. coli, 1 einen koliähnlichen, aber Traubenzucker nicht vergärenden Bazillus, 1 Proteus, 1 Streptokokkus a. c) Niere (nur die linke untersucht). Geimpft 14 Röhrchen, steril 8, 2 enthalten Bact. coli, 1 Proteus, 1 Subtilis, 1 Mischung von Proteus mit Staphylokokken, 1 Staphylokokken. d) Leber. Geimpft 33 Röhrchen, davon bleiben steril 21, 2 enthalten Bact. coli, 2 Proteus, 1 Fluorescens liquefaciens, 1 sporenbildendes Stäbchen (nicht Subtilis), 1 Staphylokokken, 2 Streptokokken a, 1 Schimmel, in 2 Röhrchen nicht näher identifizierte Kurzstäbchen, die auf Gelatine und in Bouillon bei 22° nicht zum Wachstum zu bringen sind. e) Mesenterialdrüsen (sehr spärlich vorhanden). Geimpft 6 Röhrchen, 3 bleiben steril, 3 enthalten Proteus. f) Lunge. Geimpft 7 Röhrchen, steril 4 Röhrchen, 1 Mykoides, 1 Staphylokokkus, 2 Schimmel. g) Bronchialdrüsen (nur zwei auffindbar). Geimpft 5 Röhrchen, steril 2, 1 Schimmel, 2 Staphylokokken (nicht pyogen).

Blinder Versuch mit steriler Rindsleber. Geimpft 53 Röhrchen, 1 Subtilis, 1 grofse Staphylokokken, 1 Sarcine, steril 50 Röhrchen.

8. Terrier, ca. 9 kg, $^5/_4$ Jahre alt, sehr kräftiges Tier. Läuft am ersten Tage $7^1/_2$ Std. mit 2 viertelstündigen Pausen, erhält dann kein Futter und läuft am nächsten Morgen 4 Std. hintereinander, ohne stärkere Ermüdung zu zeigen, rührt aber nach Beendigung der Laufzeit Futter nicht an. Sofort entblutet.

Resultat: a) Blut. Geimpft 29 Röhrchen, steril bleiben 26, 1 enthält Bact. coli, 1 Staphylokokken (weifs, nicht pathogen), 1 Streptokokkus a. b) Milz. Geimpft 12 Röhrchen, 10 bleiben steril, 1 enthält Bact. coli, 1 Staphylokokken. c) Niere (nur die rechte untersucht). Geimpft 14 Röhrchen,

12 bleiben steril, 1 Röhrchen enthält Staphylokokken, 1 Streptokokken a. d) Leber. Geimpft 53 Röhrchen, steril 44, Bact. coli enthalten 3, Proteus 2, Mischung von Bact. coli mit Staphylokokken 2, 1 Streptokokkus a, 1 Sarcine. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 16 Röhrchen, steril bleiben 9, 3 enthalten Bact. coli, 2 Proteus, 1 Subtilis + Staphylokokken, 1 Staphylokokken allein. f) Lunge. Geimpft 28 Röhrchen (vgl. unten), steril 11 Röhrchen, 1 Staphylokokkus (weifs, nicht pyogen), 1 Diplokokkus (nicht näher identifiziert), 5 Subtilis, 1 Mykoides, 1 Friedländerähnliches Bakterium, 8 Schimmel. g) Bronchialdrüsen. Geimpft 9 Röhrchen, steril 5, 1 enthält Subtilis, 1 sehr kleine, nur bei 37° wachsende Staphylokokken, 1 Diplokokkus (nicht näher identifiziert), 1 weifser Staphylokokkus (nicht pyogen).

Blinder Versuch mit steriler Rindsleber. Geimpft 97 Röhrchen, davon bleiben 92 steril, 1 enthielt Mesentericus, 1 Schimmel, 3 Staphylokokken (darunter ein sehr grofser).

9. Terrier, 5,8 kg, Alter unbekannt, hungert 6 Tage, erhält dann ½ kg Pferdefleisch mit 5 Agarplatten Roten Kieler (Durchmesser ca. 9 cm., 1 Tag 27°), ruht danach 2 Std. und läuft sodann 2 Std. anhaltend in der Tretmühle, nun entblutet. Die geimpften ca. 100 Röhrchen werden nur auf Roten Kieler untersucht.

Resultat: In keinem Röhrchen Roter Kieler, auch nicht in den Lungen- und Bronchialdrüsenröhrchen.

10. Teckel, 5,25 kg, Alter unbekannt, hungert 11 Tage, erhält mit ½ kg Pferdefleisch 2 Platten (Agar, Durchmesser 16 cm, 27°, 1 Tag) Roten Kieler. Ruht nach dem Füttern ¾ Std., nun 3 Std. anhaltend Tretmühle. Mufs namentlich gegen Ende der Laufzeit oft ermuntert werden, ist erschöpft, läuft aber noch die Kellertreppe hinauf. Danach sofort entblutet. Die Röhrchen werden nur auf Roten Kieler und Stäbchenarten untersucht.

Resultat: a) Von 60 Blutröhrchen enthält 1 Roten Kieler, 1 Bact. coli, in 3 sind nicht näher identifizierte Keimarten angegangen. 55 sind steril. b) Milz. Geimpft 1 Kolben mit 250 ccm Bouillon, 12 Röhrchen, 12 Röhrchen steril. Kolben vu (d. h. mit nicht näher identifizierten Kokken bewachsen). c) Nieren. Geimpft 16 Röhrchen, 1 Röhrchen enthält Roten Kieler, 15 Röhrchen steril. d) Leber. Geimpft 46 Röhrchen, steril 40 Röhrchen, 1 enthält Bact. coli, 5 vu. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 1 Kolben, 7 Röhrchen, Kolben und 2 Röhrchen vu, 2 Röhrchen steril, 2 Röhrchen Bact. coli, 1 Röhrchen Proteus. f) Lunge. Geimpft 6 Röhrchen, steril 3, 1 Roten Kieler, 2 vu. g) Bronchialdrüsen. Geimpft 5 Röhrchen, bleiben steril.

11. Kontrollversuch zu 10, ohne Tretmühle. Teckel, 5,0 kg, Alter unbekannt, hungert 11 Tage. Erhält wie Hund 10 Roten Kieler, ruht nach dem Füttern 4¼ Std., sodann entblutet.

Resultat: a) Blut. Geimpft 60 Röhrchen, bleiben steril. b) Milz. Geimpft 1 Kolben, 12 Röhrchen, 1 Röhrchen vu, alles andere bleibt steril. c) Nieren. Geimpft 16 Röhrchen, bleiben steril. d) Leber. Geimpft 42 Röhr-

chen, 2 Röhrchen vu, 40 steril. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 8 Röhrchen, bleiben steril. f) Lunge. Geimpft 5 Röhrchen, bleiben steril. g) Bronchialdrüsen. Geimpft 5 Röhrchen, 4 steril, 1 vu.

12. Terrier, 7,2 kg, Alter unbekannt. Hungert 10 Tage, danach ohne vorherige Fütterung 2½ Std. anhaltend Tretmühle. Läuft willig, ist am Schlufs aber ziemlich stark erschöpft. Sofort entblutet.

Resultat: a) Blut. Geimpft 62 Röhrchen, bleiben steril. b) Milz. Alle 12 geimpften Röhrchen steril. c) Nieren. Geimpft 15 Röhrchen, 14 steril, 1 Proteus. d) Leber. Geimpft 57 Röhrchen, 52 bleiben steril, 2 enthalten Bact. coli, 1 Proteus, 1 Subtilis, 1 Staphylokokken. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 11 Röhrchen, 9 bleiben steril, 1 Bact. coli, 1 Proteus. f) Lunge. 11 Röhrchen geimpft, 2 enthalten Staphylokokken, 1 Subtilis, 1 Schimmel. g) Bronchialdrüsen. Sämtliche 5 Röhrchen steril.

13. Spitz, 7,9 kg, hungert 12 Tage, erhält danach mit ½ Pfd. Pferdefleisch 3 Agarplatten Roten Kieler (Durchmesser 9 cm, 1 Tag 27°). Ruht 1½ Std., läuft dann 2½ Std. anhaltend in der Tretmühle. Läuft gut und ist scheinbar nicht sehr erschöpft. Sofort entblutet.

Resultat: a) Blut. Geimpft 23 Röhrchen, bleiben sämtlich steril. b) Milz. Geimpft 11 Röhrchen, 10 bleiben steril, 1 enthält Staphylokokken. c) Niere. Alle 16 geimpften Röhrchen bleiben steril. d) Leber. Geimpft 51 Röhrchen, davon steril 41, 3 enthalten Roten Kieler, 2 Kokken (1 Staphylokokkus, weifs, nicht pyogen, 1 Streptokokkus, nicht näher untersucht), 2 Bact. coli, 1 Proteus, 1 Fluoresc. liquefac., 1 Sarcine. e) Mesenterialdrüsen. Geimpft 14 Röhrchen, davon 11 steril, in 1 Roter Kieler, in 1 Bact. coli, in 1 Bact. coli + Staphylokokken.

14. Kontrollversuch zu 13, ohne Tretmühle. Dieser Versuch ist schon unter den Hungerversuchen (diese Zeitschr. Bd. LIV, S. 357) mit aufgeführt. Hund gelb, »Fuchs«, 13,5 kg, hungert 12 Tage. Erhält mit ½ kg Pferdefleisch 3 Agarplatten Roten Kieler (9 cm Durchmesser, 1 Tag 27°). Nach 3½ Std. entblutet.

Resultat: In Blut (21 Röhrchen), Milz (11), Nieren (19), Leber (52), Mesenterialdrüsen (14) ist Roter Kieler nicht nachzuweisen.

Was zunächst die Versuche 1—3 anlangt, in denen Roter Kieler an Hunde verfüttert wurde, die dann während der Verdauungszeit 1—3 Stunden Tretmühlenarbeit zu leisten hatten, so zeigt sich, dafs innerhalb dieser Zeit der verfütterte Keim vom Intestinaltraktus in das Körperinnere nicht eingedrungen war. In jedem Falle aber war er in der Lunge nachzuweisen. Das ist wohl entweder auf eine direkte Aspiration von Futter-

resten zurückzuführen oder stellt eine Tröpfchen-Selbstinfektion[1]) dar: Die meisten Hunde speichelten bei der Arbeitsleistung, namentlich im Anfange, ziemlich stark, der Speichel vermengt sich mit den verfütterten, auf Mund- und Rachenschleimhaut noch haftenden Keimen, bei der intensiven Atmung per os werden kleine Speicheltropfen in die tieferen Luftwege hinabgeschleudert. Die untersuchten Lungenstückchen waren sämtlich nur peripheren Partien entnommen.

Da nach diesen Versuchen zu befürchten stand, dafs bei einem länger dauernden Verweilen der Hunde in der Tretmühle es zu einer noch weitergehenden Invasion der verfütterten Keime in die Lungen kommen würde, da ferner einige solcher Fütterungsversuche abgebrochen werden mufsten, weil die laufenden Tiere das Verfütterte erbrachen, so wurde die Verfütterung von Keimen fortgelassen und der Organismus auf Darmkeime abgesucht. Es wurden hierbei, wie schon früher bei den Hungerversuchen (diese Zeitschr. Bd. 54, S. 360), zur Feststellung des Grades und der Art der Luftverunreinigung nicht nur während der Versuchsdauer je sechs Luftplatten bei jedem Versuch exponiert, die auch bei diesen Versuchen frei von Rotem Kieler, Bact. coli und Proteus blieben, sondern ich fügte auch blinde Versuche in der Weise an, dafs im Autoklaven 2 Stunden bei 112° sterilisierte Rindsleberstücke mit denselben Manipulationen wie die Tierorgane verarbeitet und auf Bouillonröhrchen verimpft wurden, die ich dann die gleiche Zeit lang wie die eigentlichen Versuchsröhrchen beobachtete.

Wie Versuch 4 zeigt, führt die Ausdehnung des Laufenlassens auf 6 Stunden bei einem 3 Jahre alten Terrier dazu, dafs Bact. coli in Niere, Leber, Mesenterialdrüsen, Proteus in Leber anzutreffen waren. Bei einem 1½ Jahre alten Tier der gleichen Rasse (Versuch 5) ist nach der auf 2 Tage verteilten Laufzeit von 13½ Stunden eine stärkere Invasion von Darmkeimen erfolgt, hier konnte Bact. coli in Blut, Niere,

1) Ficker M., Über die Aufnahme von Bakterien durch den Respirationsapparat. Diese Zeitschr. Bd. LIII, S. 59.

Leber und besonders reichlich in den Mesenterialdrüsen, Proteus in Blut, Leber und ebenfalls in den Mesenterialdrüsen nachgewiesen werden. Die Versuche 6, 7, 8 bestätigen diese Befunde.

Bedenkt man, dafs, wie bei den früheren Hundeversuchen, nicht die ganze Organmasse, sondern nur der 6. bis 10. Teil zur Aussaat auf die Nährböden gelangte — eine Ausnahme bilden nur die Bronchial- und Mesenterialdrüsen, die ohne Rest auf Bouillon kamen —, bedenkt man weiter, dafs ich mich bei der Untersuchung nur auf die Aeroben bzw. fakultativ Aeroben beschränkt, hingegen die obligaten Anaeroben nicht berücksichtigt habe, so haben die gefundenen Keimmengen als Minimalzahlen zu gelten. Vergleicht man die Zahl der in den blinden Versuchen verunreinigten Röhrchen mit der Zahl der bei den Hundeversuchen angegangenen Kulturen, so mufs man schliefsen, dafs von den letzteren ein ganz erheblicher Teil auch noch andere, dem Hundeorganismus entstammende Keime enthalten haben mufs. So sicher die Herkunft von Bact. coli und Proteus aus dem Hundedarm ist, so ist die Frage nach der Herkunft der übrigen gefundenen Keimarten nur schwer lösbar. Wenn es nach den Vergleichsversuchen zweifellos ist, dafs nur ein kleiner Teil der Staphylokokken enthaltenden Röhrchen durch Luftkokken verunreinigt war, so ist es doch unmöglich, hier die Grenze zu ziehen, da eine Differenzierung dieser von den aus dem Organismus stammenden nicht aufzufinden war. Etwas anderes ist es mit den Streptokokken. Da diese weder auf den Luftplatten, noch in den Röhrchen der blinden Versuche nachzuweisen waren, so dürfte ihre Herkunft aus dem Hundeorganismus sicher sein, und mit Wahrscheinlichkeit ist anzunehmen, dafs die als Streptokokkus a bezeichnete Art aus dem Darmkanal stammt, sie war aus Hundekotproben mittels Drigalskiagars, auf welchem sie blaue Kolonien bildet, leicht herauszuzüchten und unterschied sich von einer anderen, als Streptokokkus b bezeichneten Art dadurch, dafs sie Indol bildete und auch anaerob kräftig wuchs.

Einige weitere Versuche an der Tretmühle erstreckten sich auf Hunde, denen vor der Laufarbeit eine Zeitlang die Nahrung

entzogen war. In früheren Versuchen war erwiesen, dafs bei Hunden zeitigstens nach einer 12—13 Tage währenden Nahrungsentziehung in den Organen Darmkeime erschienen, und dafs der an hungernde Hunde verabreichte Rote Kieler erst nach Ausdehnung der Hungerperiode auf 16 Tage in Organen nachgewiesen werden konnte. Die Versuche 10—14 zeigen nun deutlich, dafs eine Kombination von Nahrungsentziehung und Ermüdung den Übertritt verfütterter Keime oder von Darmbakterien aufserordentlich begünstigt. Bei dem 11 Tage lang hungernden Tiere genügte schon die Laufzeit vou 3 Stunden (Vers. 10), um den Roten Kieler, bei dem 10 Tage hungernden Tiere (Vers. 12) die Laufzeit von 2 ½ Stunden, um Darmkeime übertreten zu lassen. Keine der beiden Mafsnahmen konnte für sich allein eine ähnliche Wirkung hervorrufen, wie das die früheren und auch die angeführten Kontrollversuche 11 und 14 dartun.

Vergleicht man die Versuchsresultate untereinander, so zeigen sie, dafs individuelle Verschiedenheiten bestehen: die Menge der übergetretenen Keime geht nicht immer parallel der in der Tretmühle verbrachten Stundenzahl oder dem erreichten Grad der Erschöpfung: die Organe eines anscheinend nur mäfsig erschöpften Tieres können mit stärkerem Keimgehalt behaftet sein als die des stark erschöpften. Das gilt auch für die Kombination von Hunger und Tretmühlenarbeit, auch hierbei kann ein nur wenig erschöpftes Tier ganz beträchtliche Keimmengen in den Organen aufweisen.

Wenn es durch das Auffinden typischer Darmbakterien erwiesen ist, dafs unter dem Einflusse der Erschöpfung Keime aus dem Darmlumen ins Körperinnere gelangen, so ist doch die Frage aufzuwerfen, ob von den übrigen in den Kulturen angetroffenen Keimen der Prozentsatz, der sicher nicht auf die bei dem Manipulieren eintretenden Luftverunreinigungen zurückzuführen ist, ebenfalls dem Darm entstammt oder anderer Herkunft ist: es kommen dabei die Luftwege und die äufsere Haut in Betracht. Der reichliche Kokkenbefund könnte auf die Vermutung führen, dafs unter den gegebenen Bedingungen auch Hautkeime

ihren Weg nach innen finden. Man kann diese Möglichkeit nach den neueren Versuchen über die Erzeugung von Agglutininen auf kutanem Wege nicht ganz von der Hand weisen. Daſs aber für eine Keiminvasion auf aërogenem Wege bei unseren Versuchen die Chancen günstigere werden, ist sicher, da ja sowohl verfütterte als auch Luftkeime in den entfernteren Lungenpartien sich fanden. Bei dem 8. Versuche suchte ich noch über die Verteilung der inhalierten Keime in den einzelnen Lungen direkten Aufschluſs zu gewinnen und entnahm von den peripheren Teilen der Lungenspitzen und der hinteren Unterlappen gleichgroſse Stücke, die auf je sieben Bouillonröhrchen zur Verteilung kamen. Dabei ergab sich:

1. Lunge rechts oben: 3 Röhrchen Schimmel, 2 Subtilis, 1 Staphylokokken, 1 steril.
2. Lunge rechts unten: 4 Röhrchen steril, 3 Schimmel.
3. Lunge links oben: 3 Röhrchen Subtilis, 1 Schimmel, 1 Mykoïdes, 1 Friedländerähnlicher Keim, 1 steril.
4. Lunge links unten: 5 Röhrchen steril, 1 Staphylokokken, 1 Schimmel.

Es war also in beiden Lungenspitzen die Keimzahl eine höhere als in den Unterlappen.

Bei der landläufigen Auffassung der Disposition wird man geneigt sein, einen Grund für den im erschöpften Organismus erfolgenden Übertritt von Darmkeimen insbesondere in einer Reduktion der bakterienfeindlichen Schutzkräfte des Blutserums zu suchen. Die in dieser Richtung von Ceni[1]) vorgenommenen Untersuchungen schienen mir einer Nachprüfung und Erweiterung wert zu sein: es wurde von Hunden die bakterizide, agglutinierende und hämolysierende Fähigkeit des Serums vor und nach der Tretmühlenarbeit bestimmt.

A. Bakterizide Reagenzglasversuche.

I. Versuch.

Es werden einem Hund (Nr. 3 in obigen Versuchen) vor Beginn der Laufarbeit ca. 25 ccm Blut aus der rechten Karotis entnommen, Blut wird defibriniert und ebenso wie das 3 Std. später beim Entbluten entnommene

1) Ceni, C., Giornale internaz. delle science med., 1893, p. 201.

über Nacht im Eisschrank gehalten; am nächsten Morgen zentrifugiert. Inaktivierung 1/2 Std. 56°, Komplettierung durch Meerschweinchenserum. Die Röhrchen I enthalten 1,5 ccm, die Röhrchen II 0,5 ccm des Hundeserums. Zusatz von drei Tropfen steriler Bouillon, Auffüllen auf 2 ccm mit NaCl-Lösung. Zur Aussaat kommt Roter Kieler. Aufbewahrung der Röhrchen 3 Std. bei 37°. Agarplatten.

		Keime pro 1 ccm
Aussaat		31 000
Röhrchen I: Serum	vor Tretmühle	10 000
	nach »	9 000
Röhrchen II: Serum	vor »	13 000
	nach »	11 000
Hundeserum inaktiv	vor »	42 100
	nach »	41 000

Kontrollen: Hundeserum ohne Einsaat steril.
Meerschweinchenserum . . »

II. Versuch.

4 Jahre alter, 12 kg schwerer Hund, läuft 6 3/4 Std. in der Tretmühle mit 1/4 stündiger Pause, ist stark erschöpft. Blutentnahme aus Karotis vor- und nachher. Behandlung des Blutes wie oben. Wird nicht inaktiviert. Röhrchen a enthalten 2 ccm ohne NaCl-Lösung, Röhrchen b 0,5 ccm Serum + 1,5 ccm NaCl-Lösung. Zur Einsaat kommen Kulturen von B. coli und zwar Koli d. H. = Koli von demselben Hund isoliert; Koli a. H. = Koli von einem anderen Hund isoliert; ferner Typhus Moabit und Cholera B. I. Sonst wie oben.

		Koli d. H.	Koli a. H.	Typhus	Cholera
Aussaat		84 000	101 000	105 000	41 000
a) Serum	vor Tretmühle	54 000	108 000	260	0
	nach »	64 100	64 000	0	0
b) Serum	vor »	83 000	149 000	6 300	0
	nach »	109 000	129 000	0	0

Kontrollen: 1 ccm Serum (vor) ohne Einsaat 2 Keime, nach Tr. 0
1 » » nach 3 Std. . . . 0 » nach Tr. 0

III. Versuch.

Hund 6. Anordnung wie Vers. II. Gläschen a enthalten 2 ccm Serum ohne Kochsalzlösung, Röhrchen b 0,3 ccm Serum + 1,7 ccm Kochsalzlösung.

		Koli d. H.	Koli a. H.	Typhus	Cholera
Aussaat		1 560 000	1 720 000	2 124 000	1 250 000
a) Serum	vor Tretmühle	11 800 000	4 300 000	45 000	55
	nach »	2 180 000	1 740 000	1 700	0
b) Serum	vor »	13 600 000	3 900 000	416 000	1 260
	nach »	4 800 000	2 770 000	20 000	60
Serum	inaktiv . . .	unzählbar	—	—	—
	ohne Einsaat .	0	—	—	—

IV. Versuch.

Hund 7. Anordnung wie Vers. II. Jedes Röhrchen der Reihe a und b enthält 2 ccm Serum. a und b unterscheiden sich durch die Aussaatmenge.

		Koli d. H.	Koli a. H.	Typhus
a) Aussaat		2 900 000	3 900 000	1 700 000
Serum	vor Tretmühle . .	24 600 000	6 350 000	890 000
	nach » . .	6 100 000	1 480 000	10 000
b) Aussaat		4 100	5 500	2 400
Serum	vor Tretmühle . .	97 000	14 000	30
	nach » . .	22 000	2 800	0

Kontrolle: Serum (vor Tr.) ohne Einsaat 1 ccm 2 Keime (Verunreinigung?)
Serum (vor) nach 3 Std. 37° . . . 2 »
Serum (nach Tretm.) . . . . 0 »

V. Versuch.

Hund 10. Röhrchen a enthalten 1 ccm Serum + 1 ccm Kochsalzlösung, Röhrchen b 0,5 ccm Serum + 1,5 ccm Kochsalzlösung.

		Koli d. H.			Koli d. H.
Aussaat		3 000 000	Aussaat		3 000 000
a) Serum	vor Tretmühle	947 000	b) Serum	vor Tretmühle	1 960 000
	nach »	322 000		nach »	1 232 000

Kontrolle: Serum (vor u. nach Tr.) ohne Einsaat steril.

VI. Versuch.

Dieser Versuch galt nur der Frage, ob das Serum eines erschöpften Hundes auf das Bact. coli desselben oder eines anderen Hundes stärker oder

schwächer einwirkt. Röhrchen a enthalten 2 ccm Serum, Röhrchen b 0,5 ccm Serum + 1,5 ccm Kochsalzlösung. Zur Verwendung kam Serum von Hund 12.

	Koli d. H.	Koli a. H.
Aussaat . .	195 000	137 000
a)	3 100	165 000
b)	19 000	211 000
Kontrollen .	steril	

VII. Versuch.

5 Jahre alter, 13 kg schwerer Hund; stirbt plötzlich nach 4 Std. langer kontinuierlicher Laufzeit; 10 Min. nach dem Tode wird Blut aus dem Herzen entnommen.

	Koli d. H.	Koli a. H.	Typhus
Aussaat	7 400	5 600	1 540 000
Serum { vor Tretmühle . . .	7 000	1 300	29 000
Serum { nach » . . .	126 000	12 000	86 000
Kontrollen	steril		

VIII. Versuch.

Zur Kontrolle, ob die in den vorstehenden Versuchen sich ergebenden Schwankungen in dem bakteriziden Verhalten des Serums vielleicht lediglich eine Folge der der Tretmühlenarbeit voraufgehenden Blutentnahme sei, wurde einem Hunde, 7,3 kg schweren Terrier, der nicht in die Tretmühle kam, 26 Stunden nach der ersten Blutentnahme erneut Blut entnommen und zwar jedesmal ca. 25 ccm aus Vena jugularis.

	Koli d. H.	Koli a. H.	Typhus
Aussaat	14 300	18 600	21 300
Serum { I. Entnahme	760	19 840	265
Serum { II. »	1 140	43 600	590
Kontrollen	steril		

B. Hämolytische Versuche.

1. Serum von Hund II. Alle Röhrchen enthalten 1 ccm der frischen 5 proz. Blutkörperchenaufschwemmung. Hierzu fallende Mengen vom Hundeserum. Ergänzung auf 2 ccm Volumen mit NaCl-Lösung. Kontrollen: Blutkörperchenaufschwemmung āā Kochsalzlösung, Hundeserum allein.

		Serummenge 1	0,5	0,25	0,1 ccm	0,05	0,025	0,01
a) Kaninchenblutkörperchen + Serum	vor Tretmühle	+	+	+	+	0	0	0
	nach »	+	+	+	+	0	0	0
b) Meerschweinblutkörperchen + Serum	vor »	+	+	+	+	+	0	0
	nach »	+	+	+	+	+	0	0
2. Serum vom Hund III.								
a) Kaninchenblutkörperchen + Serum	vor »	+	+	+	0	0	0	0
	nach »	+	+	+	0	0	0	0
b) Menschenblut + Serum	vor »	+	+	+	0	0	0	0
	nach »	+	+	+	0	0	0	0
3. Serum vom Hund IV.								
a) Kaninchenblutkörperchen + Serum	vor »	+	+	+	+	0	0	0
	nach »	+	+	+	+	0	0	0
b) Menschenblutkörperchen + Serum	vor »	+	+	+	0	0	0	0
	nach »	+	+	+	0	0	0	0

C. Agglutinationsversuche.

Verdünnung 1 :		2	4	8	16	32	64	128	256	nur NaCl-Lösung
1. Serum Hund II.										
Koli a. H.	vor . .	+	+	+	+	+	+?	0	0	0
	nach .	+	+	+	+	+	+	0	0	0
Koli d. H.	vor . .	+	+	+	0	0	0	0	0	0
	nach .	+	+	+	0	0	0	0	0	0
Typhus	vor . .	+	+	+	0	0	0	0	0	0
	nach .	+	+	+	0	0	0	0	0	0
2. Serum Hund IV.										
Koli a. H.	vor . .	+	+	+	0	0	0	0	0	0
	nach .	+	+	+	+	+	+	0	0	0
Koli d. H.	vor . .	+	0	0	0	0	0	0	0	0
	nach .	+	+	+	+	0	0	0	0	0
Typhus	vor . .	+	+	+	+	0	0	0	0	0
	nach .	+	+	+	+	+	+	0	0	0
3. Serum Hund VIII.										
Koli a. H.	1. Entn.	+	+	+	+?	0	0	0	0	0
	2. »	+	+	+	+?	0	0	0	0	0
Koli d. H.	1. »	+	+	+	+	+	+	+	0	0
	2. »	+	+	+	+	+	+	+?	0	0
Typhus	1. »	+	+	+	+	+	+	0	0	0
	2. »	+	+	+	+	+	+	0	0	0

Von diesen Versuchen sind die hämolytischen ganz eindeutig ausgefallen: das vor und nach der Erschöpfung entnommene Serum zeigt in seiner Fähigkeit, Menschen-, Kaninchen- und Meerschwein-Blutkörperchen zu lösen, keinen Unterschied. Auch das agglutinierende Vermögen wurde in einem Falle durch die Erschöpfung nicht beeinflufst, hingegen war bei einem andern Hunde nach der erschöpfenden Tretmühlenarbeit die Agglutinationskraft des Serums in nicht unbeträchtlichem Mafse verstärkt und zwar gegenüber allen drei verwendeten Bakterienarten. Die blofse Entnahme einer entsprechenden Menge Blutes bei einem Hunde, der nachher nicht in den Laufkasten kam, verminderte die agglutinierende Wirkung nicht. Es fällt ferner auf, dafs in einem Falle das normale Serum eines Hundes den von dem gleichen Tiere isolierten Kolistamm bis zur Verdünnung 1 : 128 agglutinierte, den von einem andern Hund gewonnenen kaum mehr bei 1 : 16. Bei zwei anderen Hunden aber agglutinierte das Serum gerade den zugehörigen Kolistamm weniger stark als den fremden. Trat im Gefolge der Erschöpfung eine Erhöhung der Agglutinationswirkung ein, so richtete sich diese in relativ gleicher Stärke gegen beide Koliarten.

Die Prüfung des bakteriziden Vermögens des Hundeserums vor und nach der Tretmühle ergibt das bemerkenswerte Resultat, dafs das Serum auch des äufserst erschöpften Tieres an bakterizider Wirkung nichts verloren hat, im Gegenteil, es gehört zur Regel, dafs das Serum nach der Tretmühlenarbeit des Tieres sogar stärker bakterientötend wirkt als vorher. So werden z. B. in dem Serum des sehr stark erschöpften Hundes 7 (Vers. IV) die eingesäten 1 700 000 Typhusbazillen zu 10 000 in 3 Stunden reduziert, während in dem Serum desselben Hundes, bevor er die erschöpfende Arbeit leistet, dieselbe Aussaatmenge nur auf 890 000 heruntergeht. — Vergleicht man das Verhalten des Hundeserums, auch das des normalen gegenüber den verschiedenen Keimarten, so fällt es auf, dafs neben der beträchtlichen Beeinflussung von Typhusbazillen und besonders auch von

Choleravibrionen die Wirkung auf Bact. coli eine viel schwächere ist, das sich in einigen Fällen binnen 3 Stunden in dem Serum sogar vermehrt: immer aber ist dann das Serum vor der Tretmühlenarbeit ein besserer Nährboden für Bact. coli als das Erschöpfungsserum. Ebensowenig wie bei Prüfung der agglutinierenden Fähigkeit ergeben sich bei Prüfung des bakteriziden Vermögens Gesetzmäfsigkeiten, wenn man die Serumwirkung gegenüber den zugehörigen und fremden Kolistämmen vergleicht: in einigen Fällen tötet das Hundeserum die vom gleichen Tiere stammende Koliart stärker ab wie die Kolistämme anderer Hunde, in ebensoviel Fällen zeigt sich das umgekehrte Verhalten. Es ist hervorzuheben, dafs das Serum eines erschöpften Hundes (Vers. II), das eine Veränderung des Agglutinationsvermögens gegenüber vier verschiedenen Keimarten nicht aufwies, gegen diese doch eine ganz erheblich stärkere bakterizide Wirkung entfaltete wie das vor der Erschöpfung entnommene. — Schliefslich ist noch zu erwähnen, dafs bei Versuch VII, bei welchem die Erschöpfung zum Tode führte, das Serum schon wenige Minuten nach erfolgtem Tode des Tieres keine oder eine verminderte bakterizide Fähigkeit aufwies.

Nach allen diesen Versuchen kann man, sofern man überhaupt berechtigt ist, aus bakteriziden Reagenzglasversuchen Schlüsse auf die Verhältnisse in vivo zu ziehen, der Beschaffenheit des Serums des ermüdeten Hundes bei dem Prozefs des Eindringens von Bakterien aus dem Darm eine ausschlaggebende Bedeutung nicht beimessen. Es ist hier auf das analoge Verhalten des Serums hungernder Hunde zu verweisen. — Vergegenwärtigt man sich diese Tatsachen, so müssen sich doch Zweifel regen, ob wir denn auf dem richtigen Wege sind, wenn wir bei Schutzimpfungen gegen Darminfektionen den bakteriziden Wert des Serums des Geimpften als zuverlässigen Immunitätsmafsstab ansehen: es steht zu befürchten, dafs die Verhältnisse nicht so einfach liegen, und es ist nicht ausgeschlossen, dafs die Bemühungen, gegenüber einigen von dem Darm ausgehenden Infektionen den Organismus zu schützen, dann erfolgreicher werden, wenn man nicht oder nicht nur auf subkutanem Wege den Impf-

stoff verabreicht, sondern wenn man die Schutzkräfte dort organisiert und sammelt, wo die Infektion erfahrungsgemäfs ihren Ausgang nimmt.

Die Unterlagen sind zurzeit noch zu unsicher, als dafs wir richtige Vorstellungen über das Zustandekommen und die Art und Weise des beobachteten Übertritts von Keimen aus dem Darm des ermüdeten Tieres gewinnen könnten. Es entbehrt nicht des Interesses — und gibt vielleicht für das weitere Eindringen in diese Frage einen Fingerzeig — dafs bei Organismen, wie beim erwachsenen Hund, bei welchem für gewöhnlich die Schleimhaut des Intestinaltraktus keimdicht zu sein scheint, durch Inanition oder Erschöpfung oder noch mehr durch Kombination von beiden eine Rückkehr zu der Eigentümlichkeit der infantilen Verdauungswege erfolgt, eine Eigentümlichkeit, die wir ja, wenn wir lediglich die Keiminvasion ins Auge fassen, auch beim sterbenden Organismus finden. — Solange wir nichts besseres wissen, werden wir es schon heute als gewifs nicht gleichgültig bezeichnen können, wenn unter dem Einflusse stärkster körperlicher Anstrengung die Menge des Saftes von Magen und Verdauungsdrüsen stark reduziert, die Peristaltik vermindert, die allgemeine Lymph- und Blutbewegung hingegen lebhaft beschleunigt wird — Momente, welche dem Eindringen von Bakterien wohl förderlich sein können. — Wenn die bei starker Muskelarbeit auftretende Leukozytose, die vielleicht für das extravaskuläre bakterizide Verhalten des Serums verantwortlich zu machen ist, zunächst als eine dem Keimeindringen entgegenwirkende Erscheinung aufgefafst werden könnte, so darf doch auch die Frage aufgeworfen werden, ob hier nicht die Leukozyten auch als Keimverschlepper, als Bakterienträger gelten können. Eine solche Verschleppung von Keimen könnte bei der hier aufs äufserste gesteigerten Blutbewegung leicht stattfinden. Noch näherliegend aber ist es wohl, daran zu denken, dafs zu Zeiten anhaltender höchster Inanspruchnahme körperlicher Kräfte die Körperzellen an denjenigen Stellen, die nicht direkt an der Kräfteproduktion und am Kräfteumsatz beteiligt sind, zum Teil ihrer natürlichen Schutzkräfte entblöfst, reaktions-

unfähig, minderwertig sind, und dafs sich zu solchen Zeiten z. B. die Darmschleimhaut in einer ähnlichen Verfassung befinden kann, wie bei dem Inanitionszustande, bei diesem mufste es ja auch als wahrscheinlich gelten, dafs die in seinem Verlaufe sich einstellende Zellinfirmität dem Keimeindringen Vorschub leistet. Für die vorliegenden Verhältnisse dürfte diese zellulare Auffassung mehr Wahrscheinlichkeit für sich haben als diejenige, die nicht darüber hinauskommt, immer nur in der Serumqualität den Grund für das Eintreten oder Ausbleiben des Schutzes gegenüber Mikroorganismen zu suchen.

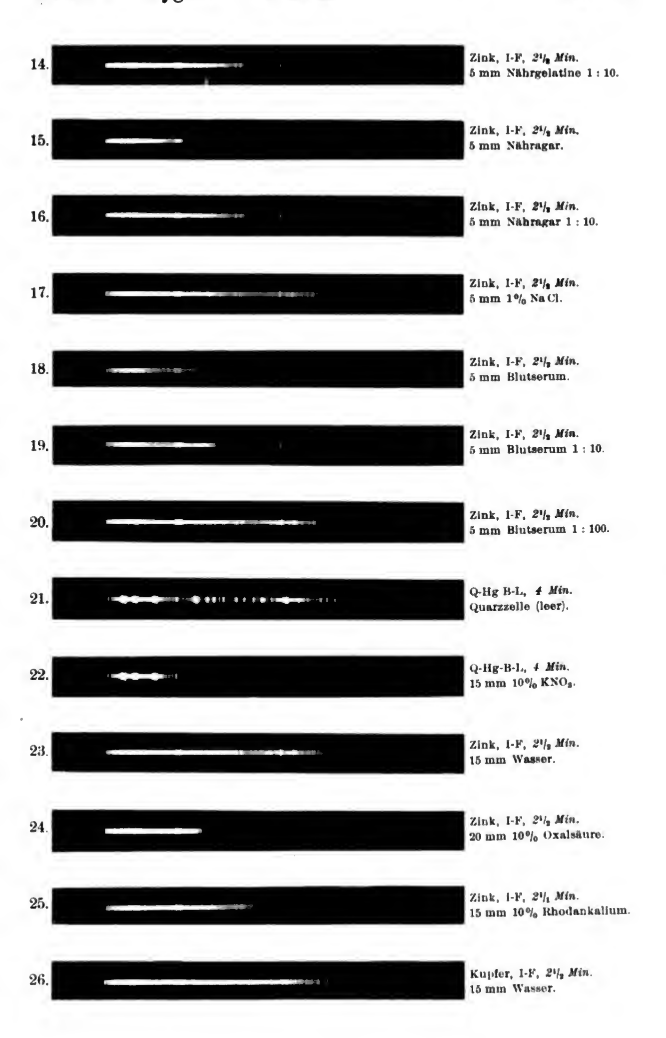
Durch meine Versuche dürfte vielleicht die alte Erfahrungstatsache, dafs das Fleisch abgetriebener Schlachttiere sehr bald nach der Schlachtung schon verdirbt, dafs hingegen das Fleisch sich hält, wenn man die Tiere vor dem Schlachten mehrere Tage ruhen läfst, ihre Aufklärung finden.

Auch würde es diskutierbar sein, ob die in den erschöpften Organismus eindringenden Keime an einigen Erscheinungen, die sich im Allgemeinbefinden solcher Individuen äufsern, mitbeteiligt sind, man mufs hier unwillkürlich an das Erschöpfungsfieber und an den von älteren Ärzten gebrauchten Ausdruck »Autotyphisation« denken.

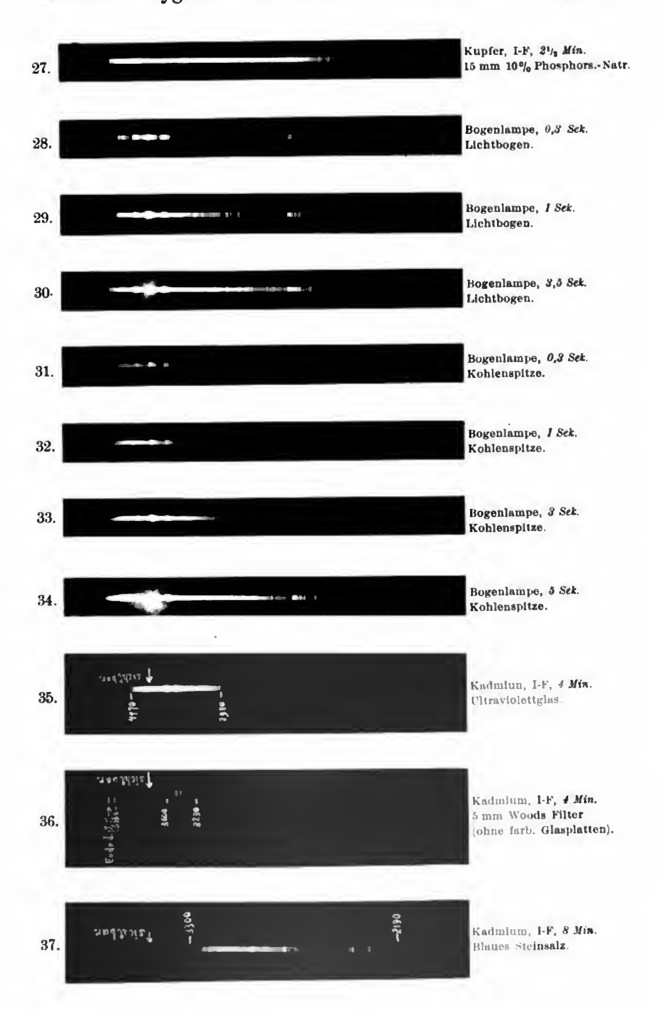
Weiterhin aber kann es nicht zweifelhaft sein, dafs unsere Vorstellungen über die Entstehung von Infektionskrankheiten durch die vorstehenden Versuche eine Förderung erfahren: sie bieten der ärztlichen Anschauung von der Bedeutung der Erschöpfungszustände für das Zustandekommen intestinaler Infektionen eine Stütze und berechtigen uns wohl auch, hierbei an die eingangs aufgeworfene Frage der Entstehung des Typhus zu denken, bei welchem oft genug Erschöpfung oder Hunger oder beide vereint als Schrittmacher fungieren.



Verlag von R. Oldenbourg, München u. Berlin.



Verlag von R. Oldenbourg, München u. Berlin.



Verlag von R. Oldenbourg, München u. Berlin.

Über Vergleiche der Bildung von Antikörpern bei Menschen und Tieren (im besonderen Gruppenagglutininen).

Von

Dr. **Heinrich Kayser,**

früherem I. Assistenten des Instituts, jetzigem Oberarzt im Inf.-Rgt. 172, kommandiert zum Institut.

(Aus dem Institut für Hygiene und Bakteriologie der Kaiser Wilhelms-Universität Strafsburg i/E.)

Im Jahre 1904 habe ich zwei Typhusfälle der hiesigen Medizinischen Klinik vielfach untersucht, welche in auffälliger Weise das Bild der Gruppenagglutination von Paratyphusbakterien sowohl des Schottmüllerschen Typus B als auch des Brion-Kayserschen Typus A darboten. Die bakteriologischen Besonderheiten dieser Fälle habe ich an anderer Stelle[1]) eingehend mit Brion beschrieben.

Bei diesen zwei Kranken (Ber. und Del.) ist es mir geglückt, mit einer Anreicherungsmethode[2]) die erregenden Typhusbazillen aus dem Blute zu züchten. Der Castellanische Versuch getrennter Agglutininsättigungen hatte mich annehmen lassen, dafs eine Mischinfektion mit Paratyphusbazillen beide Male nicht vorlag. — Da ich nun im Besitze des Krankheitserregers war,

1) A. Brion und H. Kayser, Neuere klin-bakt. Erf. bei Typhus und Paratyphus. Deutsches Archiv f. klin. Med., Bd. 85, S. 525 ff. 1906.

2) Kayser, Münchner med. Wochenschr., 1906. April/Mai. Nr. 17, 18.

ging ich im Einverständnis mit Herrn Prof. J. Forster und E. Levy zunächst an die Lösung folgender Fragen:

1. Sind die Typhusbazillen aus dem Blute der Kranken Ber. und Del. in auffälliger Weise agglutinabel für Paratyphusimmunserum? Sind sie für Typhusimmunserum besonders agglutinabel?
2. Erzeugen diese Typhusbazillen-Stämme auch bei Tieren aufsergewöhnlich hohe Gruppenagglutinine für Paratyphusbazillen?
3. Wie verhalten sich verschiedene Tierarten, und wie verschiedene Individuen der gleichen Art in dieser Hinsicht?
4. Wirken diese Typhusbazillen, lebend einverleibt, bezüglich der Gruppenagglutininerzeugung anders als durch Hitze abgetötete des gleichen Stammes?
5. Wächst und fällt bei jedem Tier die Gruppenagglutinationsbreite mit der Höhe des Hauptagglutinins?
6. Ist das Agglutinationsmaximum im Tierblut auch nach Immunisierung mit den Stämmen Del. und Ber. ein spezifisches?

Mit andern Worten: sind an den merkwürdigen klinischen Gruppenagglutinationsbefunden individuelle Eigentümlichkeiten einer Typhusbazillenrasse und ihrer haptophoren Gruppen oder Besonderheiten der menschlichen Körperzellen gerade dieser Patienten schuld?

In den Kreis eines Teiles der Untersuchungen habe ich ferner die Typhusbazillen von einem dritten Fall (Herrn Fritz) gezogen, da dieser Kranke in einer ganz auffälligen Weise nur Paratyphusbakterien des Brion-Kayserschen Typhus A mitagglutinierte.

Meine drei angezogenen Typhen verhielten sich bakteriologisch folgendermafsen:

1. Herr Ber. Schwerer Typhus. Klinikaufnahme 14. X. 04. An diesem Tage Typhusbazillen im Stuhl nachzuweisen. Am 31. X. 04 Typhusbazillen aus Blut, Pleuraflüssigkeit

(trüb serös) und Stuhl gezüchtet. Noch am 7. XII. 04 im Empyemeiter Typhusbazillen (Thorakotomie). Am 18. I. 05 als »bazillenfrei« nach langer Rekonvaleszenz entlassen. — Ebenso wie 2. u. 3. in der Klinik des Herrn Prof. v. Krehl behandelt.

2. Herr Del. Schwerer Typhus. Klinikaufnahme 5. X. 04. Am 22. X. 04 Typhusbazillen aus Blut und Stuhl kultiviert, später noch öfters aus Stuhl. Am 2. XII. 04 als »bazillenfrei« entlassen.
3. Herr Fritz. Ziemlich schwerer Typhus. Am 27. I. 04 aufgenommen. Am 29. I. 04 Typhusbazillen im Blut gefunden. Bei 22 Stuhluntersuchungen während des Verlaufes achtmal Typhusbazillen aus Stuhl gewonnen, bei 16 Urinversuchen viermal Typhusbazillen gezüchtet. Am 29. III. 04 »bazillenfrei« entlassen.

Die zur Prüfung der Agglutinabilität meiner Typhusbazillenstämme benutzte Kaninchenimmunseren (Tab. I, II, III) habe ich durch intravenöse Einverleibungen folgender Stämme erzeugt:

1. Bact. typhi Eberth-Gaffky, alter Laboratoriumstamm.
2. Bact. paratyphi A Brion-Kayser, Stamm von 1902[1]).
3. Bact. paratyphi B Schottmüller, Stamm Seemann[2]).

Die Agglutinationen sind nur dann als + notiert, wenn sie nach 3stündigem Aufenthalt der Röhrchen (junge, 12stündige Agarabschwemmungen!) bei 37° unzweifelhaft, d. h. glotzig waren, sei es makroskopisch oder mikroskopisch (bei häufchenloser Kontrolle). Immer fand nach 12 Stunden weiteren Zimmeraufenthalts eine zweite nur makroskopische Besichtigung statt, um keine der nicht so sehr seltenen, besonders klinisch wichtigen, von mir als »verspätete makroskopische Reaktion«[3])

---

1) Münchner med. Wochenschr., 1902, Nr. 15.

2) Zeitschr. f. Hygiene u. Inf., Bd. 36, S. 368 ff.

3) Deutsches Archiv f. klin. Mediz., 1906, Bd. 85, S. 526, 529 u. 530 spez.

bezeichneten Erscheinungen zu übersehen. Ich habe eine gröfsere Zahl Normal- (Nichttyphus-) Menschenseren und auch Kaninchennormalblut vielfach auf diese »verspätete makroskopische Reaktion« mit Typhus- und beiden Paratyphusbakterien in Verdünnungen 1 : 100 und 1 : 50 geprüft, und sie bei 1 : 100 nie gefunden; eine solche Reaktion 1 : 50 aber ist mit Vorsicht zu beurteilen und nur dann diagnostisch für eine »Krankheitsgruppendiagnose« zu verwerten, wenn sie ganz stark vorhanden ist. Selbstverständlich müssen auch hier die Kontrollröhren besichtigt werden. — Die Agglutinierbarkeit meiner Stämme war folgende:

Tabelle I.

Agglutinierbarkeit der Bakterienstämme gegenüber Kaninchen-Immunserum von Bact. typhi Eberth-Gaffky.

Stämme	Serum											
	1 : 100	200	300	500	1000	2000	3000	5000	10 000	20 000	30 000	50 000
1. Bact. typhi . . . (alt. Stamm a. Labor.)	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	—
2. Bact. typhi . . . (aus Blut v. Hrn. Ber.)	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+
3. Bact. typhi . . . (a. Blut v. Hrn. Del.)	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	—
4. Bact. paratyphi A (Brion-Kayser)	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5. Bact. paratyphi B (Schottmüller)	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle II.

Agglutinierbarkeit der Bakterienstämme gegenüber Kaninchen-Immunserum von Bact. paratyphi A Brion-Kayser.

Stämme	Serum											
	1 : 100	200	300	500	1000	2000	3000	5000	10 000	20 000	30 000	50 000
1. Bact. typhi . . . (Laboratorium)	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Bact. typhi . . . (Herr Ber.)	++	++	++	++	++	+	—	—	—	—	—	—
3. Bact. typhi . . . (Herr Del.)	++	++	++	++	+	—	—	—	—	—	—	—
4. Bact. paratyphi A (Brion-Kayser)	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	—
5. Bact. paratyphi B (Schottmüller)	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Das vom Falle Fritz (vergl. Kurve 1.) gezüchtete Bact. typhi, welches durch das Typhusimmunserum der Tab. I nur bis 1 : 10000 agglutiniert ward, wird von diesem Paratyphus A-Immunserum der Tab. II blofs bis zur Verdünnung 1 : 300 zusammengeballt!

Tabelle III.

Agglutinierbarkeit der Bakterienstämme gegenüber Kaninchen-Immunserum von Bact. paratyphi B Schottmüller.

Stämme	Serum											
	1 : 100	200	300	500	1000	2000	3000	5000	10 000	20 000	30 000	50 000
1. Bact. typhi . . . . (Laboratorium)	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Bact. typhi . . . (Herr Ber.)	++	++	++	+	+	—	—	—	—	—	—	—
3. Bact. typhi . . . (Herr Del.)	++	++	++	++	+	—	—	—	—	—	—	—
4. Bact. paratyphi A (Brion-Kayser)	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5. Bact. paratyphi B (Schottmüller)	++	++	++	++	++	++	++	++	+	—	—	—

Aus diesen Zusammenstellungen ersehen wir, dafs Stamm Ber. von Typhusimmunserum stärker beeinflufst wird, als der zur Immunisierung verwandte Laboratoriumstyphusstamm. Stamm Del. erscheint normal agglutinabel.

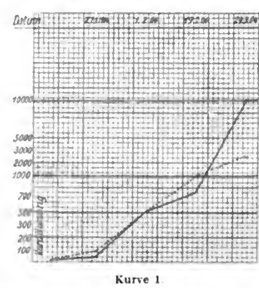
Von Paratyphus A-Immunserum wird Typhusstamm Del., besonders aber Ber. beträchtlich »mitagglutiniert«. Auch für Paratyphus B-Immunserum sind diese beiden Typhusbazillen und zwar hier hauptsächlich Del. auffällig empfindlich.[1])

Dieses Resultat könnte im Anschlufs an die Ehrlichschen Vorstellungen zu nachstehender Annahme versuchen: wie die Typhusstämme von den Fällen Ber. und Del. in aufsergewöhnlicher Menge eigenartige Molekülkomplexe haben, an denen die agglutinophoren Gruppen der Paratyphus-Agglutinine nach der Verankerung in ungewöhnlichem Mafse angreifen, so besitzen sie vielleicht auch mehr als andere Typhusbazillen eigenartige haptophore, id est besonders geartete — mit

1) Vgl. bei Bruns-Kayser, Zeitschr. f. Hyg. u. Inf., 1903, Bd. 43, S. 413—415 die Agglutinationstabellen.

Paratyphusbakterien gemeinsame — agglutinogene Gruppen, welche nach der Einverleibung im Organismus dementsprechend besonders geartete Rezeptoren (= Agglutinine) überproduzieren lassen.

Indessen eine solche Nebeneinanderstellung kann nicht für alle Typhusbazillen stark gruppen-agglutinierender Patienten aufgestellt werden. Dies beweist die Untersuchung des Typhusbazillus Stamm Fritz, der aus dem Blut eines Kranken mit auffällig hoher Paratyphus A-Gruppenagglutination (s. Kurve 1) isoliert ward: die zwar auch für Typhusimmunserum nicht sehr agglutinabeln Stäbchen wurden nämlich von Paratyphus A-Immunserum verhältnismäfsig wenig beeinflufst (s. S. 79).



Kurve 1.

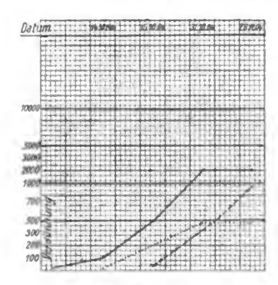
Typhusserum (Herr Fritz).

Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A =
Bact. paratyphi B = – – – – – –
(fehlt hier.)

Nach diesen Vorversuchen verwendete ich neben den »Laboratoriums«-Bazillen nur Stamm Ber. und Del. zur Immunisierung von Tieren, und zwar von je zwei Kaninchen und einem Hund. Die Tiere erhielten an den verschiedenen Tagen immer gleiche Mengen von den drei Typhusstämmen; diese drei Typhusbazillen waren auf Nährboden gleicher Bereitung unter gleichen äufseren Umständen gleich lange gewachsen und wurden in gleicher Weise zur Einspritzung vorbehandelt. Verschiedene Haupttiter und Gruppen- (oder Partial-) Agglutinintiter der Tiere mufsten also entweder von Eigentümlichkeiten der rezeptorenbindenden (haptophoren) Gruppen unserer Bakterien, oder aber Besonderheiten des Agglutinine liefernden Zellapparates meiner Tiere herrühren.

Im folgenden stelle ich hinter die Agglutinationskurve von Fall Fritz zunächst die des Ber. Hierauf kommen des

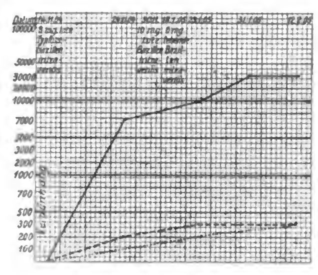
leichteren Vergleiches halber die zwei Kaninchen- und die Hundekurve Ber. Daran schliefsen sich die gleichartigen Aufzeichnungen vom Typhusfalle Del.



Kurve 2.

Typhusserum (Herr Ber.).

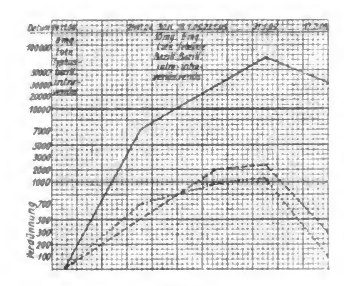
Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A = ·········
Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 3.

Typhusstamm Ber. (Kaninchen I).

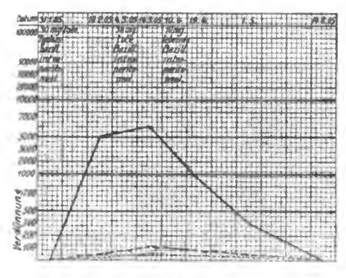
Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A = ·········
Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 4.

Typhusstamm Ber. (Kaninchen II).

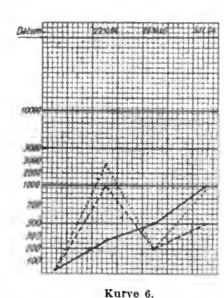
Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A = ·········
Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 5.

Typhusstamm Ber. (Serum von Hund I).

Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A = ·········
Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 6.

Typhusserum (Herr Del.).

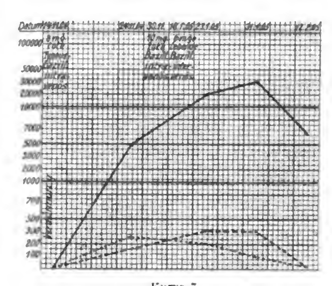
Agglutination für:

Bact. typhi = ————

Bact. paratyphi A = ············



Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 7.

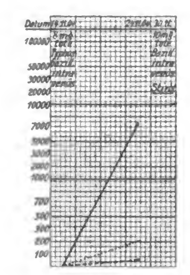
Typhusstamm Del. (Serum von Kaninchen III).

Agglutination für:

Bact. typhi = ————

Bact. paratyphi A = ············

Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 8.

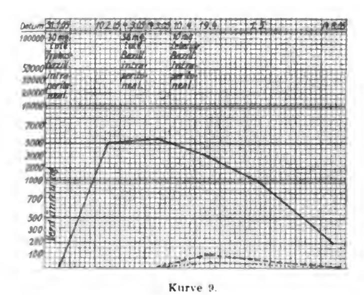
Typhusstamm Del. (Serum von Kaninchen IV).

Agglutination für:

Bact. typhi = ————

Bact. paratyphi A = ············

Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 9.

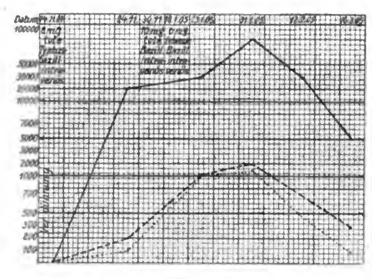
Typhusstamm Del. (Serum von Hund II).

Agglutination für:

Bact. typhi = ————

Bact. paratyphi A = ············

Bact. paratyphi B = — — — — —



Kurve 10.

Typhusstamm „Laborator" (Serum von Kaninchen V).

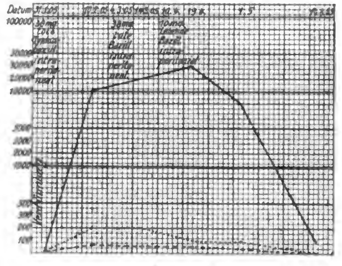
Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A = ·· ··········
Bact. paratyphi B = — — — — —

Kurve 11.

Typhusstamm „Laborator" (Serum von Kaninchen VI).

Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A = ·· ··········
Bact. paratyphi B = — — — — —

Zur Technik bemerke ich, daſs die »Toten Bazillen« im Wärmebad bei 58° C abgetötet waren. Die Aufschwemmungen geschahen stets in 0,85 proz. Kochsalzlösung.



Kurve 12.

Typhusstamm „Laborator" (Serum von Hund III).

Agglutination für:
Bact. typhi = ————
Bact. paratyphi A =
Bact. paratyphi B = — — — — —

Ich glaube, daſs die Gruppenagglutinationen der Kurven 1, 2 und 6 als solche bewiesen sind einmal durch die gleichzeitigen Bakterienzüchtungen aus Blut!, Stuhl und Urin und dann durch den Castellanischen Versuch der getrennten Agglutininsättigung, welche ich vorgenommen habe.

Eine Vergleichung meiner Agglutinationsresultate untereinander sowie mit denen von Bruns und mir[1]) zeigt in der Hauptsache:

1) Bruns und Kayser, Zeitschr. f. Hyg. u. Inf.-Krankh., 1903, Bd. 43, S. 409—412 spez.

1. Auffällig starke Partialagglutinine für Paratyphusbazillen werden durch die Typhusstämme Ber. und Del. im Kaninchen- und Hundekörper im Gegensatz zum Befund am Menschen (s. o.) nicht gebildet. Die Gruppenagglutinationszahlen dieser Tierseren reichen nicht an die Verhältniswerte im Patientenserum des Ber. und Del. heran. Die Partialtiter sind durchschnittlich bei den Hunden niederer als bei den Kaninchen. (Erstere wurden im Gegensatz zu den Kaninchen intraperitoneal gespritzt.)
2. Schon verschiedene Individuen der gleichen Tierart verhalten sich, mit Typhusbazillen immunisiert, u. U. bezüglich der Gruppenagglutinine in gewissen Grenzen ungleich.
3. Werden Tiere, die anfänglich mit lebenden Typhusbazillen behandelt wurden, mit dem gleichen jedoch bei 58° abgetöteten Stamme weiter immunisiert, so können die Haupt- und Partialagglutinationstiter in unveränderter Weise weiter steigen; bei Kaninchen II, III, und VI wurde jedoch daraufhin ein anderer Paratyphus-Typus, als es bis dahin der Fall gewesen war, am höchsten »mitagglutiniert«.

   Bei Hund III fällt dann der Partialtiter für Paratyphus A, obwohl der Haupttiter für Typhusbazillen steigt. Demnach greift die Hitze von 58° C agglutinogene Bakterienbestandteile an.[1])
4. Bei ein und demselben Tier kann man im grofsen und ganzen den Satz aufstellen, dafs mit dem Haupttiter für Typhusbazillen die Gruppenagglutinationswirkung auf beide Paratyphusbazillen wächst.

   Man darf jedoch offenbar nicht für Immunseren, die von verschiedenen Tieren stammen, eine Regel aufstellen derart, dafs bei einer bestimmten Stärke

1) Vgl. auch die Erörterung und Fragestellung über diesen Punkt bei R. Paltauf, Bd. IV, Nr. XII, Kolle-Wassermanns Handbuch, in der trefflichen umfassenden Abhandlung über die Agglutination.

des Hauptagglutinins dasselbe Typhusbakterium die gleiche Menge Nebenagglutinine für die Paratyphusbakterien bei allen Tieren erzeugt.

5. Auch nach Immunisierung mit den Typhusstämmen Ber. und Del. (s. o.) bleibt das Agglutinationsmaximum im Tierversuch stets ein spezifisches.

Dafs die Stämme Ber. und Del. in auffälliger Weise für Paratyphusimmunserum agglutinabel waren, habe ich bereits oben gesagt; dieser Tatsache kann aber meines Erachtens bis jetzt keine allgemeine Wichtigkeit zugemessen werden.

Was uns aber die Versuche lehren, ist vor allem, dafs das Verhältnis von der Haupt- zur Partialagglutininstärke weniger abhängt von Besonderheiten der Typhusbazillenrassen, als von der Individualität des Rezeptorenapparates im agglutininerzeugenden Organismus. Wohl sind eine Anzahl haptophorer Gruppen bezüglich ihrer agglutinogenen Spezifizität bei Typhus- und Paratyphusbazillen beider Typen gleichartig, aber offenbar hat nicht jeder Organismus die gleiche Menge dazu passender Molekülkomplexe in seinen agglutininliefernden Zellen.

Solche Befunde und Erwägungen[1]) dürfen wohl nach meinen bisherigen Erfahrungen in ihrer Anwendung auf die agglutinierende Serodiagnostik von Bakterien der Typhus-Koli-Gruppe verallgemeinert werden zur Nutzanwendung u. a. bei den modernen Untersuchungen auf dem Gebiete auch der Fleischvergifter[2]), der Mäusetyphus-, Schweinepest- und Psittakosebakterien. Es lassen sich daraus auch Erklärungen ziehen für vereinzelte merkwürdige Gruppenbeeinflussungen bei Pfeifferschen Bakterizidie-Versuchen[3])[4]) mit hochwertigen Seren.

1) cf. auch Ballner u. v. Sagafser. Dieses Archiv, Bd. 51, S. 245.

2) Literatur bei van Ermengem und R. Jöst in Kolle-Wassermanns Handbuch, bei A. Brion, in der Deutschen Klinik von Leyden-Klemperer, Bd. II, Trautmann, Zeitschr. f. Hyg., Bd. 45, Bruns-Kayser, a. a. O.

3) A. Böhme-Neifser, Frankfurt, Zeitschr. f. Hyg. u. Inf.-Krankh., 1905, Bd. 52.

4) H. Kayser, Bakt. Bef. bei einem weiteren Fall von Paratyphus A. Zentralbl. f. Bakt., 1906, Bd. 40, S. 285.

Um zum Agglutinationsphänomen zurückzukehren, so sind beim Menschen die seltenen[1]), auffälligen, vorübergehenden scheinbaren »Unstimmigkeiten« des Agglutinationsmaximums bisher in ihrem Ursprung unaufgeklärt. Zupnik[2]) führt die merkwürdigen Resultate zum Teil auf die verschiedene Agglutinierbarkeit der einzelnen Typhusbazillenstämme zurück, und nimmt an, dafs »Eberthsche Sera ausnahmsweise in ihrem Agglutinin einen dem artspezifischen annähernd gleich starken Anteil für die Schottmüllersche und Brion-Kaysersche Paratyphusbazillenart besitzen können«. Bei meinen Menschen- und Tierversuchen habe ich stets mit den gleichen Stämmen agglutiniert. — Ich glaube mit Jürgens, dafs man bei Patienten nicht selten den Haupttiter dadurch übersah, dafs Agglutinationsproben nicht bis zu den gehörigen Verdünnungen angesetzt wurden, und die bekannten Hemmungen des Hauptagglutinins in den benutzten, relativ hohen Serumkonzentrationen vorlagen. Aber dabei bleiben doch noch Rätsel übrig.

Da sich mittels unserer Tierversuche keine besonderen gruppenagglutinogene Eigenschaften der Typhusrassen Ber. und Del. erweisen liefsen, so mufs der Unterschied zwischen Tier- und Menschenbefund seine Ursache an dem individuellen Rezeptorenapparat der menschlichen Serumspender[3]) haben oder an dem bisher nicht zu beweisenden Hereinspielen vorausgegangener Paratyphusinfektionen oder gleichzeitiger oder sekundärer Mischinfektionen[4])[5]) liegen.

---

1) Vgl. die Prozentzahlen bei Brion-Kayser, Deutsches Arch. f. klin. Med., Bd. 85, 1906, S. 550.

2) L. Zupnik, Deutsche med. Wochenschr., 1905, Nr. 44.

3) Vgl. Falta-Nöggerath, Deutsches Archiv f. klin. Med., Bd. 83, Nr. VII.

4) H. Kayser, Deutsche med. Wochenschr., 1904, Nr. 49. Daselbst Literatur.

5) W. Gaehtgens, Zentralbl. f. Bakt. u. Parask., I. Abt., 1906, Bd. 40, S. 621.

Die Gesundheitsschädlichkeit der schwefligen Säure und ihrer Verbindungen unter besonderer Berücksichtigung der freien schwefligen Säure.

Von

Dr. med. **Herm. Walbaum,**

Assistenten des Institutes.

(Aus dem pharmakologischen Institut der Universität zu Göttingen. Direktor: Prof. Dr. C. Jacobj.)

Im Interesse der Volksgesundheitspflege bestimmt bekanntlich das Deutsche Reichsgesetz, betreffend den Verkehr mit Nahrungs- und Genufsmitteln vom 14. Mai 1879, in §§ 12—14, dafs strafbar ist, wer Gegenstände, welche bestimmt sind, anderen als Nahrungs- und Genufsmittel zu dienen, derart herstellt, dafs ihr Genufs die menschliche Gesundheit zu schädigen geeignet ist.

Dieses Gesetz hat vielfach in sehr wirksamer Weise in den letzten Jahrzehnten eine Handhabe geboten, um Gefahren, welche die zunehmende Verwendung gesundheitsschädlicher Konservierungsmittel für das Volkswohl zu bedingen drohte, abzuwenden. Sobald in überzeugender Weise nachgewiesen werden kann, dafs eine zur Erhaltung von Nahrungs- und Genufsmitteln von der Industrie als Zusatz verwendete Substanz geeignet ist, die Gesundheit zu schädigen, so kann, ja mufs auf Grund dieses Gesetzes Verfolgung eintreten. Diesen Nachweis einer tatsächlich bestehenden Schädlichkeit einwandfrei und überzeugend zu erbringen, bietet aber in vielen Fällen grofse Schwierigkeiten, zumal dann, wenn es sich um die Wirkungen kleiner Mengen

von Substanzen handelt, die keine unmittelbar hervortretenden schweren Erscheinungen bedingen, sondern zunächst nur geringe, leicht übersehbare Störungen veranlassen, bei längerer Wiederholung aber doch allmählich die Gesundheit schwerer zu schädigen vermögen, und deren Verwendung in der Nahrungsmitteltechnik man, gerade weil sie in ihrer Schädlichkeit leicht verkannt werden, auf das möglichste Mindestmafs herabzudrücken alle Veranlassung hat. Besondere Schwierigkeiten stellen sich der gesetzlichen Einschränkung entgegen bei solchen Substanzen, die in geringen Mengen schon seit alters zur Konservierung in bestimmten einzelnen Fällen benutzt wurden, und die erst dadurch heutzutage dem Volkswohle gefährlich werden, dafs die Industrie sie mifsbrauchend in grofsen Mengen zur Desinfizierung des verschiedenartigsten Nährmaterials verwendet. Hier suchen die Interessenten dann vielfach unter Hinweis auf den angeblich seit alters als unschädlich sich erwiesen habenden Gebrauch, aber unter Verschweigung der dabei in Frage kommenden Mengen, solche Substanzen als überhaupt völlig harmlos hinzustellen und das Urteil des Publikums zu ihren Gunsten zu beeinflussen, und es bedarf dann unter Umständen einer grofsen Reihe eingehender Untersuchungen über die Wirkungsart und die Wirksamkeitsgrenzen, ehe es gelingt, ein Tatsachenmaterial beizubringen, das so allgemein überzeugend ist, dafs seitens der Regierung die erforderlichen gesetzlichen Mafsnahmen ergriffen werden können. Diese Untersuchungen, wenn schon sie von chemischer Seite wesentlich gefördert werden können, fallen indessen vor allem dem Pharmakologen zu, da nicht nur die chemischen Verhältnisse, sondern vor allem auch die biologischen hier ausschlaggebend sind.

Eine solche Frage, die zurzeit wieder allgemeines hygienisches, chemisches und pharmakologisches Interesse beansprucht, ist die, ob und inwieweit eine Verwendung der schwefligen Säure als Konservierungsmittel für die Gesundheit nachteilig werden kann. Und gerade in diesem Falle erweist es sich wieder einmal als dringend nötig, neben den chemischen Tatsachen die pharmakologischen zur Lösung der Frage heranzuziehen.

In Form der sog. Schwefelungen findet bekanntlich die schweflige Säure schon seit ältester Zeit ausgedehnte Verwendung, zumal bei der Weinbehandlung zur Sterilisierung der Fässer, sowie auch sonstiger, der Aufbewahrung von Nahrungsmitteln dienender Behälter. Bei dieser Art der Verwendung genügen, um den erstrebten Zweck — die Sterilisierung der Gefäfse — zu erreichen, schon sehr geringe Mengen der Säure, und diese haben gewifs zu Gesundheitsschädigungen niemals Anlafs gegeben. Heutzutage aber hat die Industrie das Bestreben, die schweflige Säure als Desinfiziens in das Nährmaterial selbst einzuführen und die zu erhaltende Nahrung damit förmlich zu imprägnieren, um auch die bei weniger sorgfältiger Behandlung derselben eingedrungenen, die Zersetzung begünstigenden Keime abzutöten. Für die hierbei in Frage kommenden weit gröfseren Mengen schwefliger Säure trifft aber selbstverständlich die den kleineren Mengen vielleicht zuzugestehende Unschädlichkeit für die Gesundheit nicht mehr ohne weiteres zu, und diese Tatsache ist denn auch schon seit alters durchaus richtig erkannt und gewürdigt worden. Es beweist dies ein Gesetz Kaiser Maximilians aus dem Jahre 1497[1]), welches den Zweck hat, den Umfang des Gebrauches der schwefligen Säure beim Schwefeln des Weines zu regeln und einem Mifsbrauch mit diesem Verfahren vorzubeugen. Dies Gesetz hebt ausdrücklich hervor, dafs »derartige Zusätze nach den Ansichten der Gelehrten der Artzney« den Menschen »vielmalen schwere, langwerende, unüberwindliche, tödliche Krankheiten erzeugen«, und bestimmt deshalb bei Androhung schwerer Strafe, dafs zum Schwefeln eines Fuders Wein (ca. 1200—1500 l) nicht mehr als 1 Lot (16 g) Schwefel benutzt werden dürfe. Selbst bei der Annahme, dafs alle bei der Verbrennung des Schwefels entstehende schweflige Säure in den Wein überginge, würden also nicht mehr als 20—25 mg SO_2 auf den Liter gekommen sein.

Man sollte nun denken, dafs eine Frage wie die nach den Grenzen der Gesundheitsschädlichkeit der schwefligen Säure, die

1) Zitiert bei Kionka, Zeitschrift f. Hygiene etc., Bd. 22, S. 393.

schon so lange Zeit die Gelehrten beschäftigt und sogar schon vor 400 Jahren zu so strengen gesetzlichen Mafsnahmen geführt hat, heutzutage völlig geklärt sei und unserer Nahrungsmittelgesetzgebung keinerlei Schwierigkeiten mehr bereiten könne. Dem ist aber keineswegs so. Im Gegenteil beweist ein Blick auf unsere neuen diesbezüglichen deutschen Reichs-Nahrungsmittelgesetze und deren Begründung, dafs man es bisher stets vermieden hat, die gesundheitsschädlichen Wirkungen der schwefligen Säure als solche direkt als Grundlage für eine ihre Verwendung ausgiebig beschränkende Bestimmung zu verwerten. Es ist zwar tatsächlich bei zwei sehr wichtigen Lebensmitteln, bei Milch und Fleisch, zurzeit jeder Zusatz von schwefliger Säure gesetzlich ausgeschlossen. Bei der Milch aber nur deshalb, weil bei dieser die Verwendung überhaupt aller chemischen Konservierungsmittel untersagt ist. Für Fleischwaren verbietet der Bundesratsbeschlufs vom 18. Februar 1902[1]) allerdings auch und zwar jeglichen Zusatz von schwefliger Säure und ihren Salzen. Aber aus der technischen Begründung[2]) dieses letzteren Verbotes ersieht man, dafs bei dieser energischen Mafsnahme nicht etwa die Gesundheitsschädlichkeit der schwefligen Säure an sich das Ausschlaggebende war. Diese wird zwar eingehend besprochen und auch nachdrücklich betont, das Hauptgewicht wird aber darauf gelegt, dafs durch den Zusatz der schwefligen Säure das Publikum über die Frische und den mit dieser in Beziehung stehenden gesundheitlichen Wert des betreffenden Fleisches getäuscht werden könne. Um das absolute Verbot hier durchzusetzen, bedurfte es erst des von Rubner[3]) u. a. erbrachten Beweises, dafs die durch Sulfitzusatz hervorgerufene längere Erhaltung der frischen roten Fleischfarbe nicht zurückzuführen sei auf eine erhaltende, desinfizierende Wirkung des Sulfites, sondern ihren Grund lediglich in dem chemischen

1) Reichsgesetzblatt S. 48.

2) Reichsanzeiger. 24. Februar 1902. Erste Beilage.

3) Rubner, Hygienische Rundschau, 1903, Nr. 7. — Lange, Archiv für Hygiene, Bd. 40, 1901, S. 143. — Kuschel, Archiv für Hygiene, Bd. 43, S. 134.

Verhalten des Sulfites zu dem Hämoglobin unter gleichzeitiger Einwirkung des Luftsauerstoffes habe, und dafs mit Sulfit »konserviertes« Fleisch trotz seines frischen Aussehens der Fäulnis bereits anheimgefallen und dadurch gesundheitsschädlich geworden sein könne. Der Umstand, dafs die schweflige Säure einen gesundheitsschädlichen Zustand des Fleisches äufserlich zu verdecken vermag, war also offenbar hier allein das Ausschlaggebende für die völlige Ausschliefsung ihrer Anwendung und nicht die der schwefligen Säure als solcher zukommenden gesundheitsschädlichen Wirkungen.

Dementsprechend erfolgte denn auch im Anschlufs an das Fleischgesetz keineswegs ein allgemeineres Verbot für den Zusatz der schwefligen Säure zu Nahrungsmitteln. Das Weingesetz liefs vielmehr kleine Mengen schwefliger Säure im Weine sogar ausdrücklich zu. Es mag dies, wie wir sehen werden, auch wohl berechtigt und unbedenklich sein, sofern man unter dem Begriff »kleine Mengen« die durch blofses mafsvolles Schwefeln der Fässer in den Wein gelangenden, hier wirklich unschädlichen geringen Mengen von 10—12 mg SO_2 pro Liter versteht. Diese Auffassung wird aber nicht wohl platzgreifen, wenn in anderen Nahrungsmitteln offiziell die hundertfache Menge ebenfalls noch als unbedenklich zugelassen wird, wie es der Erlafs des preufsischen Kultus- und Handelsministeriums vom 1. Januar 1904 betreffs des Dörrobstes tut, der bis zu 0,120 g SO_2 in 100 g Ware noch als unbedenklich für die Gesundheit erklärt.

Dieser Erlafs beweist auf das Deutlichste, dafs alle die verschiedenen, von hygienischer und pharmakologischer Seite bisher für die schädlichen Wirkungen der schwefligen Säure und ihrer Verbindungen vorgebrachten und bereits in der technischen Begründung von Reichs wegen niedergelegten Argumente und Darlegungen noch nicht hingereicht haben, um allgemein in den für die Gesetzgebung mafsgebenden Kreisen eine richtige Vorstellung von dem möglichen Grade der Wirksamkeit der schwefligen Säure und der durch sie ev. herbeigeführten Störungen der Gesundheit zu erzeugen. Als solche müssen aber doch wohl alle durch eine Substanz erzeugten Erscheinungen angesehen

werden, die das normale Wohlbefinden stören, auch wenn sie nicht unmittelbare dauernde Gefahren für Gesundheit und Leben in sich schliefsen. Es liegt diese Ungleichheit der Beurteilung aber wohl daran, dafs — zumal in den letzten Jahren — vor allem von seiten der Nahrungsmittelchemie Bedenken, dahin geltend gemacht worden sind, dafs auf Grund einiger neuer chemischer Beobachtungen die verschiedenen SO_2-Verbindungen in ihrer Wirksamkeit nicht als gleichwertig betrachtet werden dürfen.

Es hatte sich nämlich bei der chemischen Untersuchung geschwefelten Weines und sonstigen Nährmaterials mehrfach ergeben, dafs in solchem mit schwefliger Säure behandeltem Material keineswegs immer freie schweflige Säure oder deren Salze enthalten sind, wie man früher angenommen hatte, sondern dafs es sich zum Teil um eigenartige organische Verbindungen der schwefligen Säure handle, welche sich erst nach dem Zusatz zu dem organischen Material bilden. Die zuerst im Wein gefundene derartige organische Verbindung, die aldehydschweflige Säure, zeigte nun ein von der freien schwefligen Säure und ihren Salzen durchaus abweichendes chemisches Verhalten. Bei der üblichen Bestimmungsmethode der schwefligen Säure mittels Jodtitration fanden nämlich Beythien und Bohrisch[1]), dafs das in der aldehydschwefligen Säure enthaltene Schwefligsäure-Radikal hier nicht ohne weiteres in vollem Umfange in Reaktion tritt, was darauf hinwies, dafs durch festere chemische Bindung in dem organischen Molekül seine Reaktionsfähigkeit herabgesetzt sei. Es führte dies dann zu der an sich durchaus berechtigten weiteren Überlegung, dafs ein Komplex, welcher in einer solchen festeren Bindung die ihm sonst zukommenden chemischen Wirkungen eingebüfst habe, auch hinsichtlich seiner pharmakologischen Wirkungen auf den lebenden Organismus eine dementsprechende Verminderung seiner Wirksamkeit zeigen müsse. Da man nun bald neben der aldehydschwefligen Säure noch andere in geschwefeltem Nahrungsmaterial vorkommende organische Verbindungen der schwefligen Säure kennen lernte, und auch diese zum Teil bei der Titration die gleiche Erscheinung zeigten, so

1) Zeitschr. f. Untersuch. d. Nahrungs- u. Genufsmittel 1902, Bd. V, S. 201.

war man vielfach geneigt, obige Annahme zu verallgemeinern und glaubte, dafs die schweflige Säure überhaupt da, wo sie in organischer Bindung auftrete, ihre spezifischen pharmakologischen Wirkungen mehrweniger einbüfse, mithin als weniger nachteilig, resp. völlig unschädlich, angesehen werden dürfe.

Diese Verallgemeinerung ist jedoch, wie die neuesten Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte von Kerp, Schmidt, Rost und Franz[1]) dargetan haben, durchaus nicht zulässig. Es zeigte sich hier vielmehr, dafs, wie die chemische, so auch die pharmakologisch-spezifische Wirksamkeit des Schwefligsäureradikals in solchen Verbindungen abhängt von der Menge der jeweils unter verschiedenen Bedingungen durch Dissoziation freiwerdenden Schwefligsäureïonen, mithin von der Dissoziationsfähigkeit der einzelnen Verbindungen. Diese Dissoziationsfähigkeit erwies sich aber bei den verschiedenen organischen Verbindungen der schwefligen Säure keineswegs als gleich, wie man angenommen hatte, vielmehr zeigten sich hier die gröfsten Verschiedenheiten. Es ergab sich, dafs allerdings die im Wein nachgewiesene aldehydschweflige Säure verhältnismäfsig recht schwer dissoziiert, dagegen wies die in geschwefelten Früchten und Most hauptsächlich in Frage kommende glukoseschweflige Säure eine aufserordentlich leichte Dissoziierbarkeit auf, die sogar der der einfachen anorganischen Salze sehr nahe stand. Entsprechend ihrer Dissoziationsfähigkeit zeigte aber auch die letztere Verbindung eine quantitativ erheblich energischere biologische Wirksamkeit im Verhältnis zur aldehydschwefligen Säure.

Es ist klar, dafs durch diese Tatsachen das Verständnis für die quantitativen Wirkungsunterschiede der einzelnen Verbindungen, soweit sie von den Schwefligsäureionen abhängen, wesentlich gefördert ist. Nachdem aber infolge dieser neuen Untersuchungen die Aufmerksamkeit sich vornehmlich der Wirkung der Schwefligsäureionen zugewandt hat, ist offenbar die Beachtung der Wirkung freier schwefliger Säure mehr in den Hintergrund gedrängt worden. Es mufs aber bei einer umfassenden Betrachtung des

1) Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte, 21. Bd., S. 141 ff.

Gegenstandes auch diese als ein für die Erklärung der möglichen Wirkungen sehr wichtiger Faktor mit berücksichtigt werden, da keineswegs auch bei Einführung der Schwefligsäureverbindungen blofs deren Schwefligsäureionen in Wirkung zu treten brauchen, vielmehr sich aus ihnen freie schweflige Säure unter gewissen Bedingungen zu entwickeln und wirksam zu werden vermag. Die von dieser letzteren bedingten Wirkungen aber können nicht ohne weiteres denen der Schwefligsäureionen gleichgesetzt werden. Ihr kommen als Säure eigenartige Wirkungen zu, die, wie wir sehen werden, gerade für eine zutreffende Beurteilung nachteiliger Wirkungen der Schwefligsäureverbindungen von besonderer Bedeutung sind.

Es erscheint deshalb auch nicht zweckmäfsig, wenn man neuerdings die Schwefligsäureverbindungen auf Grund ihrer Wirksamkeit einteilt in solche, die leicht dissoziieren, und solche, bei denen die Dissoziation eine nur geringe ist, und in der ersten Gruppe, zu der auch die anorganischen Salze gehören, kurzweg von der Wirkung freier schwefliger Säure spricht, im Gegensatz zu der gebundenen schwefligen Säure in den schwerer dissoziierbaren Verbindungen. In beiden Fällen handelt es sich nämlich, wie nach dem oben Gesagten klar sein dürfte, zunächst nur um die durch Dissoziation freigewordenen Schwefligsäureionen, aber nicht um Wirkungen der wirklichen, freien, schwefligen Säure, welche bei dieser Art der Einteilung überhaupt in den Kreis der Betrachtung nicht mit eingeschlossen ist. Es dürfte sich deshalb empfehlen, in der nachfolgenden Besprechung, welche die Schädlichkeiten der schwefligen Säure nach den in Frage kommenden Richtungen klarzustellen sich zur Aufgabe macht, zu unterscheiden: I. die Wirkungen der freien schwefligen Säure, II. die Wirkungen der Schwefligsäureionen, und wir wollen deshalb zunächst vor allem die Frage untersuchen, inwieweit freie schweflige Säure gesundheitsschädlich wirken kann, um dann auf die Wirkung der Schwefligsäureionen einzugehen, und endlich zu untersuchen, unter welchen Bedingungen aus den Schwefligsäureverbindungen freie schweflige Säure entstehen und ihre Wirkung zum Ausdruck bringen kann. Der Kürze halber wird im folgenden die schwef-

lige Säure stets als SO_2 bezeichnet werden, und ist dieser Ausdruck deshalb im Verlaufe nicht als Formel, sondern nur als Abkürzung aufzufassen.

Beginnen wir also zunächst mit Betrachtung der

I. Wirkung der freien schwefligen Säure.

Die freie SO_2 kommt einerseits in Gasform als Anhydrid, andererseits in wässeriger Lösung als Hydrat vor.

Das gasförmige Schwefligsäureanhydrid bedingt, wie allgemein bekannt, schon in sehr geringen Mengen, wenn es in Berührung mit den Schleimhäuten unseres Körpers kommt, an diesen die Erscheinung einer sehr heftigen Reizung. Man erinnere sich nur an den Reiz, den die Gase eines angezündeten Schwefelholzes an Augen, Nase sowie Rachen zu verursachen vermögen. Diese unmittelbar wahrnehmbaren Wirkungen haben denn auch schon seit langem die Aufmerksamkeit der Ärzte auf sich gezogen und zu Untersuchungen über die Wirkungen des Gases geführt. Sie wurden zunächst vor allem angestellt in Hinblick auf die Frage nach der Gesundheitsschädlichkeit der gasförmigen SO_2, wie sie in verschiedenen gewerblichen Betrieben (Hüttenwerken, Zuckerfabriken etc.) ständig in mehr oder weniger grofsen Mengen zur Entwicklung kommt und hier dann Veranlassung geben kann zu Erkrankungen der in den Betrieben beschäftigten Arbeiter.

Bereits gegen Ende des 18. Jahrhunderts stellte Bassianus Carminatus[1]) durch Versuche an Tieren fest, dafs die Einatmung von SO_2 — d. h. von Dämpfen verbrennenden Schwefels — in gröfseren Mengen schnell den Tod unter Konvulsionen zur Folge hat, den er auf eine Lähmung des Herzmuskels zurückführt. Längere Einatmung einer Luft, welche geringere Mengen SO_2 enthält — wie sie z. B. in Arbeitsräumen von Zuckerfabriken sich entwickeln können — verursachen nach Zeller[2]) neben Reizerscheinungen der Respirationsschleimhäute auch Störungen

1) Zitiert bei Hirt, Die Krankheiten der Arbeiter. 1873, II. Teil, S. 70.

2) Medizinisches Korrespondenzblatt des württemberg. ärztlichen Vereins, XXIII. Bd., 1853, S. 386.

im Allgemeinbefinden (Kopfschmerz, gestörte Verdauung etc.). Ähnliche Angaben finden sich in der älteren Literatur noch sehr zahlreich, doch sind die betreffenden Arbeiten nicht wohl zu verwerten, weil sich nirgends auch nur annähernd ersehen läfst, mit welchen Konzentrationen von SO_2 die betreffenden Versuche angestellt worden sind.

Hierüber finden sich die ersten Angaben bei Hirt[1]). Nach ihm sollen Arbeiter einen Gehalt von 1—3% SO_2 in der Luft lange Zeit hindurch ganz gut ohne gesundheitliche Schädigung ertragen, und wenn solche eintreten, so sollen sie wunderbarerweise nicht zunächst die Atemwege, sondern vielmehr die Verdauungsorgane treffen, die mitunter schon bei 1% SO_2-Gehalt Störungen zeigen. Diese Angaben Hirts über den SO_2-Gehalt der von ihm zu den Versuchen verwendeten Luft können jedoch unmöglich richtig sein. Wie er die SO_2 in der Luft bestimmt hat, ist aus der Arbeit nicht ersichtlich, aber wir müssen mit Ogáta[2]) annehmen, dafs in Hirts Analysen ein Fehler vorliegen mufs. Im Gegensatz zu Hirts Angaben stehen die im Pettenkoferschen Institut von Ogáta an Tieren und an sich selbst angestellten und mit gröfster Sorgfalt durchgeführten Versuche. Bei Fröschen, Mäusen, Kaninchen und Meerschweinchen fand Ogáta eine aufserordentlich intensive Giftwirkung des SO_2-Gases. Schon ein Gehalt von 0,04% SO_2 in der Luft rief bei allen Versuchstieren Dyspnoe und Trübung der Cornea, also lokale Reizerscheinungen hervor. Bei 0,06% SO_2 starb eine Maus nach 2 Stunden, bei 0,24% ein Kaninchen nach 4½ und ein Meerschweinchen nach 7 Stunden. Dafs der Tod wirklich durch eine Giftwirkung des Gases und nicht infolge des oft dabei sich entwickelnden Stimmritzenkrampfes eintrete, suchte Ogáta dadurch zu beweisen, dafs er auch mit tracheotomierten Kaninchen experimentierte. In der Tat verhielten sich diese dem SO_2-Gase gegenüber nicht anders als die normalen Tiere.

Werden schon durch diese Tierversuche die Angaben Hirts als unrichtig erwiesen, so geschieht dies noch mehr durch die

1) Die Krankheiten der Arbeiter. 1873, II. Teil, S. 70 ff.
2) Archiv für Hygiene, Bd. II, 1884, S. 223 ff.

vorliegenden Versuche an Menschen. Bereits bei 0,05 % SO_2 in der Luft war es Ogáta nicht mehr möglich, auch nur einen vollen Atemzug zu tun, so sehr hinderten ihn dabei Stimmritzenkrampf und Husten. Die Angaben Ogátas werden in unzweifelhafter Weise bestätigt durch die Versuche von K. B. Lehmann[1]), welche unter praktisch vorkommenden Verhältnissen im Betriebe einer Zuckerfabrik angestellt wurden. Lehmann stellte fest, dafs von den Untersuchenden, die an irgendwelchen SO_2-Gehalt der Luft natürlich nicht gewöhnt waren, ein Gehalt von 0,006 bis 0,01 ‰ SO_2 in der Luft doch bereits, wenn schon in noch nicht sehr belästigender Weise, empfunden wurde. Auch ein Gehalt von 0,02 ‰ war noch leidlich erträglich. Stieg der SO_2-Gehalt der Luft dagegen von 0,02 auf 0,04 ‰, so traten die lokalen Reizwirkungen unangenehm hervor, es zeigte sich Nasenbeissen, Niesen und Hustenreiz, und zwar traten diese Erscheinungen in so starker Weise auf, dafs der Versuch nur etwa 10 Minuten lang fortgesetzt werden konnte. Arbeiter der Fabrik allerdings ertrugen nach den Erfahrungen Lehmanns etwa den dreifachen Gehalt an SO_2 ganz leidlich, so dafs man also annehmen mufs, dafs bis zu einem gewissen Grade eine Gewöhnung an diese Reizung der schwefligen Säure eintritt. Ob damit auch die schädliche Wirkung auf den Organismus aufhört, läfst sich nach dem vorliegenden Material wohl nicht mit Sicherheit sagen. Wenn auch Lehmann ein besonders häufiges Vorkommen von Erkrankungen der Luftwege bei den Arbeitern der Fabrik nicht feststellen konnte, so wissen wir doch aus den allerjüngsten Beobachtungen von Kifskalt[2]), dafs die Widerstandsfähigkeit gegen Infektionserreger, insonderheit gegen Tuberkelbazillen, durch gasförmige SO_2 ganz entschieden herabgesetzt wird, ein Punkt, der volle Beachtung verdient, und auf den wir S. 119 nochmals zurückkommen werden.

Dafs auch bei der früher nicht seltenen therapeutischen Anwendung der gasförmigen SO_2 unangenehme Folgen nicht aus-

1) Archiv für Hygiene, Bd. XVIII, 1893, S. 180 ff.

2) Zeitschrift für Hygiene etc., Bd. 48.

geblieben sind, ersieht man aus dem Berichte Lewins[1]) in seinem Handbuche über die Nebenwirkungen der Arzneimittel. Wurde das Gas bei Desinfektion von Wohnräumen oder Behandlung von Diphtherie, Scharlach mit Schwefelräucherungen eingeatmet, so erschienen, mehr oder weniger heftig, Rauhigkeit und Kitzeln im Halse, trockener, oft konvulsivischer Husten, Reizung der Conjunctivae und Kopfschmerzen. Auch gastrische Störungen wurden beobachtet. Gelangt das Gas an die Haut, so kann es diese nach Lewin in hyperämischen Zustand versetzen, und es wird hierdurch auch das Auftreten zahlreicher Frieselbläschen während des Abheilens des Ausschlags Scharlachkranker erklärt, die mit Gasbädern von SO_2 behandelt sind.

Aus allen diesen Tatsachen geht zur Genüge hervor, dafs die gasförmige SO_2 eine heftig lokal reizende Wirkung auf die von ihr direkt betroffenen Gewebe ausübt. Ja, aus den angeführten Versuchen von Lehmann ist auch ersichtlich, dafs diese Reizwirkung selbst ganz minimalen Mengen von SO_2 noch zukommt. Die stärkste Konzentration, mit der Lehmanns Versuche angestellt worden sind, ist 0,04 ‰ SO_2, d. h. 1 l Luft enthielt 0,04 ccm SO_2, oder — da 1 ccm SO_2 ca. 2,8 mg wiegt — 0,1 mg SO_2. Rechnen wir den Atemzug zu 500 ccm, so kamen mit jedem Atemzuge — vorausgesetzt, dafs wirklich auch die gesamte, in der Atemluft enthaltene SO_2 mit der Schleimhaut in Berührung kam — 0,05 mg SO_2 zur Wirkung; und selbst dieser geringe Bruchteil eines Milligramms vermochte noch energische Reizwirkungen zu entfalten, ja auch schon 0,01 ‰ machte sich bemerkbar, mithin eine Menge von 0,028 mg SO_2 im Liter.

Allerdings werden wir es bei geschwefelten Nahrungsmitteln kaum je mit dem gasförmigen Anhydrid der SO_2 zu tun haben, abgesehen von den seltenen Fällen, wo schweflige Säure in so grofsem Überschufs bei der Behandlung zur Verwendung gelangt, dafs sie — unter gewissen Bedingungen — gasförmig entweicht. In solchen Fällen ist sie durch den Geruchsinn sofort zu erkennen

1) L. Lewin, Die Nebenwirkungen der Arzneimittel. Pharmakologisch klinisches Handbuch, II. Aufl., Berlin 1893.

und verleidet dann schon dadurch manchem den Genufs solcher Nahrungsmittel ohne weiteres.

Abgesehen von solchen Ausnahmefällen wird die SO_2 in Nahrungsmitteln, wenn überhaupt frei, stets in wässeriger Lösung zur Wirkung gelangen.

Natürlich ist es nicht ohne weiteres angängig, aus dem bisher Mitgeteilten einen Schlufs zu ziehen auf die Wirksamkeit der wässerigen SO_2-Lösung bei innerlicher Aufnahme, zumal ja die Schleimhäute von Magen und Darm, welch erstere ja zudem unter dauernder Säurewirkung steht, ganz anders sich verhalten können als die der Luftwege, der Lunge und des Auges, welche zudem vielleicht besonders empfindlich sind.

Auch der freien SO_2 in wässeriger Lösung kommen aber, ebenso wie der gasförmigen, in erster Linie lokale Reizwirkungen zu; freilich werden diese sofort mit der Resorption, d. h. mit dem Übergehen der Säure in die alkalischen Körperflüssigkeiten, verschwinden, da die Säure als solche hier sogleich neutralisiert werden wird und dann zunächst nur noch ihre Hydrosulfitionen in Frage kommen. Auf die Frage, ob und unter welchen Bedingungen aber nachträglich im Körper die durch Alkali gebundene SO_2 doch vielleicht nochmals wieder frei und wirksam werden kann, werden wir später zurückkommen.

Welcher Art sind nun die lokalen Wirkungen der freien, wässerigen SO_2? Betrachten wir zunächst, wieweit uns die Literatur hierüber Aufschlufs gibt:

Im Jahre 1868 wurde die wässerige Lösung der SO_2 von Polli[1]) als Heilmittel gegen fieberhafte Erkrankungen, insonderheit gegen Puerperalfieber eingeführt. Je mehr sie als solches zur Anwendung kam, um so häufiger wurde beobachtet, wie sie oft statt der erwünschten Heilwirkung eine entschieden nachteilige Wirkung entfaltete. Lewin berichtet in seinem oben zitierten Handbuche über verschiedene derartige Wirkungen. Besondere Beachtung verdienen die von Bernatzik und Braun[2])

1) Wiener medizinische Wochenschrift, 1868, Nr. 24.

2) Wiener medizinische Wochenschrift, 1869, Bd. XIX, Nr. 94—100.

in den Jahren 1869—72 angestellten Versuche, wenn sie sich auch lediglich auf Kranke (fiebernde Wöchnerinnen) beschränken. Äufserlich zu Scheidenausspülungen verwendet, hat ihnen die wässerige SO_2 gute Dienste getan: Der üble Geruch des Lochialsekrets verschwand meistens sehr bald, und trotz verhältnismäfsig hoher Konzentrationen (es wurden 0,5—2 proz. Lösungen angewandt) war die Reizung nur eine geringe. Demgegenüber berichtet aber doch Lewin über Blutungen, die nach Einspritzung in die Scheide bei Uterinkatarrh (0,5 g gesättigter SO_2-Lösung in 100 ccm Wasser, d. h. eine ca. 0,05 proz. SO_2-Lösung) eingetreten sind; ebenso ist nach ihm bei akuter Gonorrhöe nach Einspritzen von verdünnter SO_2 (1,5 g gesättigter Lösung in 100 g Wasser, d. h. 0,15 proz. SO_2-Lösung) eine heftige, schmerzhafte Schwellung des Gliedes beobachtet worden. Bei interner Anwendung machten auch Braun und Bernatzik erheblich unangenehme Erfahrungen. Obwohl im Laufe eines Tages stets nur 80 mg SO_2 in recht verdünnter Lösung (ca. 0,016 %) gegeben wurden, traten doch in sehr vielen Fällen profuse Durchfälle, Übelkeit, Erbrechen etc. ein, während kaum je ein Abfall des Fiebers beobachtet wurde. Zu diesen objektiv sichtbaren Erscheinungen kam noch ein starker Widerwille der Patientinnen gegen das Mittel, dessen weitere Verwendung sich dadurch schon von selbst verbot.

Auch Versuche an gesunden Menschen mit freier SO_2 in wässeriger Lösung liegen vor. Leuch[3]) gibt an, dafs die nachteilige Wirkung freier SO_2 schon bei Gaben von 45 mg beginne (wahrscheinlich wandte er in diesem Falle eine 0,15 proz. Lösung an), und die von ihm beobachteten Erscheinungen sind Kratzen im Halse, Magenbrennen, Kopfschmerz, Leibschmerz, Diarrhöe, vermehrte Speichelsekretion etc. Bei Beurteilung der quantitativen Angaben Leuchs ist aber zu berücksichtigen, dafs er die betreffenden SO_2-Mengen fast stets in Wein verabreicht hat, so dafs es nach den Ergebnissen der neueren chemischen Untersuchungen keineswegs ausgeschlossen erscheint, dafs ein mehr

1) Korrespondenzblatt für Schweizer Ärzte, XXV. Jahrg., 1895, S. 609 ff.

oder weniger grofser Teil der SO_2 nicht frei, sondern organisch gebunden zur Anwendung gekommen ist. Es wird also wahrscheinlich von Leuch die Grenze der Schädlichkeit freier SO_2 zu hoch angesetzt sein.

Abgesehen von diesen Versuchen an gesunden und kranken Menschen verdienen noch hervorgehoben zu werden die von Pfeiffer[1]) an Kaninchen mit wässeriger Lösung freier SO_2 ausgeführten Versuche, die uns über die äufserst energische Ätzwirkung der wässerigen SO_2 Aufschlufs geben. Pfeiffer gab seine Lösungen per os und untersuchte dann die lokalen Wirkungen auf den Verdauungstraktus. Bereits bei Anwendung von 0,5—1,0proz. SO_2-Lösung fand er »das Bild einer ausgedehnten und intensiven Gastritis toxica«. Wandte er eine 5proz. Lösung an, so ergab sich »eine enorme Verätzung des Magens durch alle Schichten, die sich sogar noch auf die oberflächlichen Gewebsteile anliegender Organe (Zwerchfell, Leber) fortsetzend, die betroffenen Teile wie gekocht erscheinen liefs«. Bei diesen Versuchen trat der Tod der Tiere in kürzester Zeit (nach 3 bis 5 Minuten) ein. Pfeiffer verglich nun die Intensität dieser von ihm für die freie SO_2 konstatierten Ätzwirkung mit der Wirkung anderer Säuren (nach Walter[2]), Munck[3]) u. a. führt z. B. Schwefelsäure in 1—20proz. Lösung gar nicht oder erst nach längerer Zeit zum Tode, und betreffen die bei der Sektion beobachteten Ätzungen nur umschriebene Teile der Schleimhaut), und kommt zu dem Schlufs, dafs die freie SO_2 eine ganz besonders heftige, von keiner anderen Säure erreichte, ätzende Wirkung ausübt. Wenngleich nun in Nahrungsmitteln Konzentrationen wie die von Pfeiffer untersuchten kaum je in Betracht kommen werden, so ersieht man doch aus diesen seinen Versuchen mit freier SO_2 (auf die Sulfitversuche in derselben Arbeit wird später eingegangen werden) in unzweideutiger Weise, dafs wir es bei der freien schwefligen Säure mit einer Substanz

1) Archiv für experimentelle Pathologie etc., 1890, 27. Bd., S. 261 ff.

2) Walter, Untersuchungen über die Wirkung der Säuren auf den tierischen Organismus. Dissertation, Dorpat 1877.

3) Virchows Archiv, 1861, S. 237 ff.

zu tun haben, welche ganz aufsergewöhnlich energische lokale Reiz- und Ätzwirkung an den mit ihr in Berührung kommenden Geweben entfaltet.

Trotz aller Bemühungen konnte ich weitere Versuche mit freier SO_2 in der Literatur nicht finden. Bei der Bedeutung, die es, entsprechend dem in der Einleitung Gesagten, für eine richtige Beurteilung der Frage nach der eventuellen Schädlichkeit der SO_2 in Nahrungsmitteln hat, die Wirkung der freien, wässerigen SO_2 genau zu kennen und insbesondere die Grenze ihrer Wirksamkeit möglichst sicher festzustellen, haben wir uns bestrebt, da aus den bisher vorliegenden Versuchen einigermafsen sichere Schlüsse in dieser Beziehung nicht gezogen werden können, diese Lücke auszufüllen.

Vor Besprechung unserer in dieser Richtung angestellten Versuche wird es sich empfehlen, einige kurze Bemerkungen vorauszuschicken über die beim Arbeiten mit SO_2 zu beobachtenden Vorsichtsmafsregeln, da sie für eine gesicherte Beurteilung der in den Versuchen tatsächlich zur Wirkung gelangenden Mengen SO_2 von gröfster Bedeutung sind, und ebenso mögen einige kurze Angaben über die Methodik der von uns geübten quantitativen SO_2-Bestimmung hier Platz finden.

Bei quantitativen Arbeiten über SO_2 mufs auf deren leichte Oxydierbarkeit unbedingt gröfste Rücksicht genommen werden. Wo das nicht geschieht (und in den Versuchen der älteren Literatur ist dies fast durchweg der Fall), wird man stets mit quantitativ ungenauen und deshalb zur Beurteilung häufig ganz unbrauchbaren Resultaten zu rechnen haben. Zur Vermeidung der Oxydation sind die wässerigen Lösungen stets mit ausgekochtem Wasser zubereitet, das unter Kohlensäure- oder Wasserstoffatmosphäre erkaltete. Auch die Bereitung der Lösungen hat nicht an der Luft, sondern unter Kohlensäure oder Wasserstoff zu geschehen, und, mufs man die Lösungen aufbewahren, so tue man das nicht in einfach verschlossenen Gefäfsen, sondern ebenfalls unter Kohlensäure- oder Wasserstoffdruck. Auch die Entnahme des zu den einzelnen Versuchen nötigen Quantums der Lösungen hat unter sorgfältigem Abschlufs des Sauerstoffs

zu geschehen. Handelt es sich um wässerige Lösungen freier SO_2, so kann in allen diesen Fällen Kohlensäure zum Sauerstoffabschlufs benutzt werden; handelt es sich jedoch um Lösungen von SO_2-Verbindungen, so verwendet man besser Wasserstoff, um sicher ein Freiwerden von SO_2 unter dem Einflufs der Kohlensäure zu vermeiden. Natürlich ist dieselbe Vorsicht am Platze schon bei Bereitung der SO_2. Sie geschah bei unseren Versuchen in der Weise, dafs unter Kohlensäuredruck konzentrierte Schwefelsäure in Natriumbisulfitlösung eingeträufelt wurde und die dabei sich entwickelnde SO_2, nachdem sie durch zwei Waschflaschen mit destilliertem Wasser und Kupfersulfatlösung geleitet war, in ausgekochtem Wasser aufgefangen wurde. Von dieser Stammlösung wurden durch Mischung mit ausgekochtem Wasser unter Beachtung der vorher betonten Vorsichtsmafsregeln die zu den jeweiligen Versuchen nötigen SO_2-Lösungen hergestellt.

Trotz aller dieser Vorsichtsmafsregeln wurde stets noch unmittelbar vor dem betreffenden Versuche genau der SO_2-Gehalt der zur Verwendung kommenden Lösung festgestellt. Auch bei den Lösungen von SO_2-Verbindungen geschah dieses trotz genauen Abwägens stets, da sich bekanntlich herausgestellt hat, dafs auch als chemisch rein bezeichnete Präparate fast regelmäfsig schon geringe Mengen durch Oxydation an der Luft entstandener Schwefelsäure und dementsprechend weniger SO_2 enthalten.

Zur Bestimmung des SO_2-Gehaltes wurden die Jodtitrierung und die Barytbestimmung nach H a a s benutzt.

Die Titrierung geschah in folgender Weise: In einen Überschufs von $^1/_{50}$ N-Jodlösung wurde die zu titrierende SO_2-Lösung (die Entnahme geschah unter Kohlensäure, nachdem auch die Bürette mit Kohlensäure gefüllt war) hineingelassen und alsdann mit einer auf die Jodlösung genau eingestellten $^1/_{50}$ N-Natriumthiosulfatlösung titriert, bis die Jodlösung nahezu erblafst war. Alsdann wurden sofort 1—2 ccm Stärkelösung zugesetzt und bis zu völligem Erblassen der Lösung weitertitriert. Für jede Bestimmung wurden stets mehrere Titrierungen gemacht.

Die Bestimmung nach Haas[1]) wurde in folgender Weise ausgeführt: In einen Überschufs von Jodjodkaliumlösung wurde die betreffende SO_2-Lösung hineingelassen, das überschüssige Jod verdampft, alsdann mit Baryumsulfat in der Hitze unter Anwesenheit geringer Menge Salzsäure gefällt, nach 8—24 stündigem Absetzen der Lösung heifs filtriert, der Niederschlag bis zum Verschwinden der Salzsäurereaktion mit heifsem, destilliertem Wasser ausgewaschen, getrocknet, geglüht und endlich gewogen. Eine nochmalige Reinigung des Niederschlages nach dem ersten Glühen mit Bromwasser, wie es im Interesse der Genauigkeit der Methode Schmitt und Ripper[2]) verlangen, wurde mehrfach ausgeführt, erwies sich aber bei den Versuchen mit reinen Lösungen späterhin als unnötig.

Nähere Mitteilungen über die Methodik der einzelnen Versuche werden jedesmal bei Besprechung derselben gemacht werden.

Bei unsern Versuchen kam es uns darauf an, zunächst im Anschlufs an die Versuche Pfeiffers festzustellen, wo die Grenze der anatomisch nachweisbaren Veränderungen an den Schleimhäuten des Verdauungskanales unter der Einwirkung wässeriger SO_2-Lösung liegt.

Als Versuchstiere dienten uns in diesem Falle Katzen. Sollte lediglich die Magenschleimhaut zur Untersuchung herangezogen werden, so wurde die SO_2-Lösung mit der Schlundsonde eingeführt, und dieser Versuche wird weiter unten noch gedacht werden bei Besprechung der nach Eingabe von SO_2-Lösungen auftretenden Krankheitserscheinungen. Wo es aber darauf ankommt, auch die Darmschleimhaut zu untersuchen, war das Verfahren etwas weniger einfach: In leichter Chloroform-Sauerstoff-Narkose (Apparat von Dr. Dräger) wurde den Tieren, die vorher 24 Stunden keine Nahrung erhalten hatten, so dafs Magen und Darm leer waren, die Bauchhöhle eröffnet, einzelne Darmschlingen und ev. auch ein Teil des Magens wurde abgebunden und dann in die abgebundenen Teile die zuvor auf Körpertemperatur gebrachten SO_2-Lösungen injiziert. Nach der Injektion wurde sofort die

1) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 15, 1882, S. 154.

2) Journal für praktische Chemie (2), 46, 1892, S. 428.

Bauchhöhle wieder geschlossen, und die Narkose leichten Grades eine Stunde lang fortgesetzt, wobei das Tier, um eine Abkühlung zu vermeiden, mit warmen Tüchern bedeckt gehalten wurde. Alsdann wurde die Narkose allmählich verstärkt, so dafs nach etwa 10 Minuten ohne irgendwelche Krämpfe der Tod eintrat. Unmittelbar darauf wurde stets die Sektion angeschlossen.

Die in dieser Weise angestellten Versuche führten zu dem Ergebnis, dafs eine 0,4 proz. SO_2-Lösung eine ziemlich ebenso starke Ätzung der Schleimhaut hervorruft, wie sie Pfeiffer bei 0,5% beobachtete. Auch bei 0,3 proz. SO_2-Gehalt war die Schleimhaut völlig verändert, hatte ein brüchiges, zerrissenes Aussehen und dabei jeden Glanz verloren. Auch 0,2 proz. SO_2 nahmen der Schleimhaut bereits ihren Glanz, wenngleich nicht immer völlig (die Magenschleimhaut erwies sich hier als etwas widerstandsfähiger im Vergleich zu der des Darmes.) Selbst bei 0,1 proz. SO_2 war noch eine geringe Veränderung der Schleimhaut sichtbar. Zwar blieb die Schleimhaut glänzend und glatt, aber sie verlor ihr transparentes Aussehen und erschien mehr opak. Diese Veränderung fiel besonders deutlich direkt nach dem Tode auf, da späterhin auch die normale Schleimhaut dies opake Aussehen mehr und mehr annahm. Zu dieser Veränderung der Schleimhaut kamen bei den höheren Konzentrationen vielfach noch zahlreiche punktförmige Blutungen in den angeätzten Teilen.

Es zeigen also diese Versuche, dafs selbst eine Konzentration von 0,1 proz. SO_2 noch imstande ist, an der Magen- und Darmschleimhaut makroskopisch wahrnehmbare Veränderungen zu setzen. Dafs solche Konzentrationen daneben auch Krankheitserscheinungen am lebenden Tiere zur Folge haben müssen, ist selbstverständlich und, wie unsere gleich zu erwähnenden Versuche zeigen, traten solche denn auch bei Katzen auf. Es lag die Vermutung nahe, dafs auch bei stärkerer Verdünnung intra vitam sich nachteilige Wirkungen noch würden nachweisen lassen, und es mufste deshalb von Interesse sein, die Grenze dieser objektiv am lebenden Tiere äufserlich nachweisbaren Schädigungen festzustellen.

Bei solchen Versuchen war natürlich in erster Linie dafür Sorge zu tragen, dafs auch wirklich die in den Magen eingeführten

Mengen freier SO_2 dort als solche zur Wirkung gelangten. Mit der bloſsen Einführung der Lösung ist dies jedoch keineswegs gewährleistet, da, sobald die Lösung der wässerigen SO_2 mit alkalischen Lösungen zusammentrifft, Salzbildung eintritt und nun nicht mehr die freie SO_2 sondern das Salz, resp. bei der schnellen Dissoziation desselben in entsprechender verdünnter Lösung, die SO_2-Ionen zur Wirkung gelangen werden. Im Sekret der Mundhöhle, dem Speichel, ist eine solche alkalische Flüssigkeit gegeben, und man hat die neutralisierende Wirkung des Speichels um so mehr in Betracht zu ziehen, als durch den von der eingegebenen SO_2-Lösung auf Mundhöhle und Magen ausgeübten Reiz noch eine oft erhebliche Steigerung der Speichelsekretion hervorgerufen werden kann. Dieser vermehrte Speichel wird natürlich, heruntergeschluckt, die normalerweise im Magen herrschende saure Reaktion herabsetzen und, je nach seiner Menge, auch noch freie SO_2 in Salzform überführen können. Es würden also bei einfacher Einführung der SO_2-Lösung, je nach Lage dieser Verhältnisse, sehr verschiedene Resultate sich ergeben; sehr leicht würde nur ein Teil der eingegebenen SO_2-Lösung zur Wirkung kommen und infolgedessen die Wirksamkeit der SO_2 als zu niedrig beurteilt werden. Dies dürfte also wohl bei allen bisher mit freier SO_2-Lösung angestellten Versuchen, bei denen dieser Punkt durchweg unberücksichtigt geblieben ist, der Fall sein.

Sollen die Werte quantitativ richtig sein, so ist jedenfalls diese Neutralisation der SO_2-Lösung zu verhindern. Bei einer groſsen Anzahl unserer Versuche haben wir dies dadurch zu erreichen gesucht, daſs wir mit der SO_2-Lösung etwas Salzsäure gaben, und zwar in der im Magen physiologischerweise vorkommenden Konzentration von 0,2—0,3 %. Es war von vornherein anzunehmen, daſs die auf diese Weise eingeführten Salzsäuremengen an sich keinerlei abnorme Wirkungen haben würden, aber wir hielten es doch für sicherer, dieses zuvor noch einmal festzustellen. Es ergab sich, daſs, selbst wenn drei Tage hintereinander täglich eine Dosis von 100 ccm einer 0,2 proz. Salzsäurelösung gegeben wurde, bei einer 2350 g schweren Katze

keinerlei Krankheitserscheinungen auftraten, insbesondere weder Durchfälle noch irgendwelche sichtbaren Zeichen von Schmerz. Das einzig sichtbare Symptom bestand in etwas häufigerem Niederschlucken des Speichels direkt nach der Eingabe, dies ist aber natürlich zurückzuführen auf den durch Herausziehen der Schlundsonde bedingten sauren Geschmack im Munde. Es konnten also ohne Bedenken die meist geringeren Mengen der 0,2 proz. Salzsäure angewendet werden.

Selbstverständlich ist die Wirkung einer solchen Reizung bedingenden Substanz, wie die SO_2 es ist, nicht nur von der Konzentration, sondern auch von der absoluten Menge der eingeführten Substanz abhängig. Deshalb wurde neben der Konzentration der Lösungen auch stets die Menge der eingeführten SO_2 genau bestimmt und berücksichtigt.

Die zu unseren diesbezüglichen Versuchen benutzten Katzen wurden stets mehrere Tage vorher im Laboratorium beobachtet und während der Versuche bei demselben Futter und auch sonst völlig unveränderten Verhältnissen gehalten. Die SO_2-Lösungen bekamen sie — zum Teil ohne Zusatz von Salzsäure, zum Teil in 0,2 proz. Salzsäure — durch die Schlundsonde.

Aus den in der beifolgenden Tabelle I zusammengestellten Versuchen ergibt sich,. wie man sieht, dafs auch recht geringe Mengen SO_2 in verhältnismäfsig verdünnter Lösung sehr wohl imstande sind, an Katzen sichtbare Krankheitserscheinungen hervorzurufen.

(Siehe Tabelle I auf nächster Seite.)

Bei einer Konzentration von 0,2 proz. SO_2 traten noch bei einer Gesamtmenge von 10 mg, d. h. also bei Einführung von 5 ccm einer solchen Lösung, einmal gegeben, Schmerzen und Durchfälle ein; aber auch bei einer Konzentration von 0,06 proz. SO_2 riefen noch 40 mg (65 ccm) Zittern und Durchfall hervor, und selbst bei einer Konzentration von 0,04 proz. SO_2 zeigten sich nach Einführen von 40 mg (100 ccm) noch schwache Erscheinungen (Zittern und allem Anscheine nach Schmerzen); 60 mg (150 ccm) in dieser Konzentration täglich, drei Tage hintereinander gegeben, riefen neben den jedesmal auftretenden Erscheinungen (Zittern,

Tabelle I.

Versuche an Katzen mit freier schwefliger Säure in wässeriger Lösung per os gegeben.

Nr.	Datum	Der Einzeldosis Menge ccm	SO_2-Gehalt mg	SO_2-Konzentrat. %	Lösungsmittel	Zahl der Dosen	Befund	Bemerkungen
1	3. V. 04	50	100	0,2	HCl 0,2%	3	Nach 1. Dosis Erbrechen, Taumeln, Schmerzen, Durchfall, völlige Appetitlosigkeit. Nach 2. u. 3. Dosis dasselbe.	
2	3. » »	50	100	0,2	Wasser	2	Schmerzen, Erbrechen, Durchfall. Nach 2. Dosis Tod.	Es handelte sich um ein krankes Tier.
3	7. » »	50	100	0,2	HCl 0,2%	1	Würgbewegungen ohne Erbrechen. Heftiger Durchfall.	
4	17. » »	25	50	0,2	»	1	Schmerzen. Durchfälle.	
5	17. » »	15	30	0,2	»	1	Appetitlosigkeit. Durchfall.	
6	17. » »	5	10	0,2	»	1	Schmerzen. Durchfälle.	
7	23. III. »	100	100	0,1	HCl 0,3%	1	Zittern, Aufstofsen, Schmerzen, Erbrechen, Durchfall, Appetitlosigkeit. Nach 6 Tagen Abort.	Die Lösung wurde 45° warm gegeben.
8	22. VI. »	100	100	0,1	Wasser	1	Fällt hin. Heftige Schmerzen, Zittern. Sektion: Einzelne Lungenblutungen, Magenschleimhaut schwach adstringiert.	Tier mit Chloroform getötet. Exitus o. Krämpfe.
9	20. V. »	80	80	0,1	»	1	Würgbewegungen, Erbrech. Schmerzen. Durchfälle. Appetitlosigkeit.	
10	30. V. » bis 25. VII. »	100	60	0,06	»	Dauerversuch	Nach 1. Dosis kranker Eindruck, nach 2. Dos Zittern, Würgbewegungen, Speichelflufs. Später fortwährend Durchfälle, auch solche mit Blutbeimischung. Gewichtabnahme 350 g (10%).	
11	15. VI. »	ca. 70	40	0,06	»	1	Zittern; abends Durchfall.	
12	20. » »	34	20	0,06	»	5	Nach jeder Dosis Zittern; macht trübseligen Eindruck.	
13	16. » »	150	60	0,04	»	3	Zittern; nach 2. Dosis kranker Eindruck, darauf Durchfall.	
14	19. V »	100	40	0,04	HCl 0,2%	1	Zittern; legt sich flach auf den Leib und scheint Schmerzen zu haben.	

Zeichen von Schmerzen, krankes Aussehen) noch Durchfall hervor. Bei gröfseren Gaben verstärkten sich die Erscheinungen je nach der Gröfse der Gaben; die hauptsächlich auftretenden Symptome neben den erwähnten waren Appetitlosigkeit und Erbrechen; fast regelmäfsig kam es zu mehr oder weniger profusen Durchfällen mit meist schwarzen Entleerungen.

Um zu sehen, wie sich die Wirkung kleiner Mengen freier SO_2-Lösung bei längerer Aufnahme gestaltet, wurden auch einige Dauerversuche angestellt, wobei wir die Hoffnung hegten, ev. auch die von Kionka[1]) beobachteten Blutgiftwirkungen der SO_2 feststellen zu können.

Zunächst benutzten wir zu diesem Zwecke nach dem Vorgange von Kionka Hunde. Während der Versuche wurden die Tiere in geräumigen Käfigen gehalten und erhielten mit Rücksicht auf die Angaben Pflügers[2]), dafs Pferdefleisch, allein gegeben, bei Hunden leicht zu Durchfällen etc. Veranlassung gibt, neben dem Pferdefleisch (300 g) auch genügende Mengen (200 g) Brot täglich.

Der erste Hund (8100 g schwer) erhielt, wie der folgende Protokollauszug zeigt, täglich 40 mg SO_2 in 0,02 proz. Lösung etwa drei Monate lang.

Protokollauszug I.

Gelbe Hündin (Gewicht = 8100 g).

6. — 14. II. 04: Futter täglich 400 — 500 g rohes Pferdefleisch, die ca. $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde nach der letzten SO_2-Dosis Abends gereicht werden. Daneben täglich zweimal je 20 mg SO_2 in 0,02 proz. Lösung, die erste Dosis gegen 12 h mittags, die zweite zwischen 5 und 6 h abends. Am 9. u. 14. II. die SO_2-Gabe ganz ausgesetzt; am 10. II. nur die Nachmittagsdosis gegeben. In der Nacht vom 9. zum 10., vom 10. zum 11., vom 12. zum 13. und vom 13. zum 14. Durchfall. Gewicht am 10. II. 8200 g, am 13. II. 8300 g. **15. II. 04:** 12 h 16′ 20 mg SO_2 in 0,02 proz. Lösung; 6 h 15′ p. m. 20 mg SO_2 in 0,02 proz. Lösung; 7 h 200 g Brot und nachdem es gefressen, 300 g rohes Pferdefleisch. **16. II. 04:** Nachts etwas Durchfall, Kot braungelb. 12 h 30′

1) Deutsche medizinische Wochenschrift, 1902, Nr. 6; Ärztliche Sachverständigenzeitung, 1902, Nr. 4 und Ebstein, Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten, 1902, Bd. 41, S. 123.

2) Pflügers Archiv, Bd. LXXX, S. 111.

und 6 h 25′ je 20 mg SO_2 in 0,02proz. Lösung. 6 h 45′ 200 g Brot und 300 g rohes Pferdefleisch, von nun an das übliche Futter. **17. II. — 9. IV. 04:** Fütterung täglich abends gegen 7 h, mindestens $^1/_4$ Stunde nach der letzten SO_2-Dosis. Täglich 1—2 mal je 20 mg SO_2 in 0,02proz. Lösung zur selben Zeit wie früher. Die SO_2 Gabe ausgesetzt am 21. und 28. II., 6., 13., 20. und 27. III., 1., 3., 4., 5. und 7. IV. Das Befinden bleibt während der ganzen Zeit normal. Gewicht am 29. II. 7850 g. **10. IV. 04:** Nachts ziemlich heftiger Durchfall. SO_2-Gabe ausgesetzt. 10 h abends übliches Futter. **11. IV. 04:** Nachts etwas Durchfall. 12 h 5′ 20 mg SO_2 in 0,02proz. Lösung. 7 h 30′ p. m. Futter. **12. IV. 04:** Nachts dünnbreiiger Kot. 6 h 5′ p. m. 20 mg SO_2 in 0,02proz. Lösung. 7 h 30′ Futter. **13. IV. — 13. V. 04:** Übliches Futter täglich gegen 7 h 30′ abends. Daneben täglich einmal mittags gegen 12 h 20 mg SO_2 in 0,02proz. Lösung, abgesehen vom 16.—20. IV., 1., 8., 9. und 12. V., wo die SO_2-Gabe ausgesetzt wurde. In der Nacht zum 27. IV. breiiger, zum 4. V. dünnbreiiger Kot. Am 5. V., kurz nach Aufnahme der SO_2-Lösung, Erbrechen von etwas mit käsigen Massen vermischter Flüssigkeit. Sonst normales Befinden. **14. V. 04:** Gewicht 7800 g. Tötung 10 h 40′, 1 g Chloralhydrat subkutan. 11 h 5′ — 11 h 12′ 2 g Chloralhydrat (20proz. Lösung) intravenös (V. jugularis sinistra). 11 h 15′ — 11 h 45′ Verblutung aus der Carotis sinistra mit Durchspülen von ca. 5 l 38° warmer physiologischer Kochsalzlösung unter künstlicher Sauerstoffatmung durch Trachealkanüle. 11 h 45′ Exitus ohne jegliche Krämpfe oder sonstige Störungen in Atmung oder Durchblutung.

Während der ganzen Versuchszeit zeigte, wie man sieht, das Tier aufser dreimaligem Durchfall keinerlei Krankheitserscheinungen oder Störungen im Wohlbefinden. Sein Gewicht hatte bis zum Schlufs allerdings um 300 g abgenommen. Nach der in Chloralhydratnarkose, unter Sauerstoffinhalation, durch Verbluten, unter Ausspülen mit warmer physiologischer Kochsalzlösung bewirkten Tötung (alle diese Vorsichtsmafsregeln sind durchaus notwendig, um jegliche Erstickungskrämpfe und durch dieselben leicht entstehende Blutungen zu vermeiden) ergab die Sektion einen völlig normalen Befund. Es fanden sich weder am Magendarmkanal, noch in Lungen, noch auch in anderen Organen irgendwelche Blutungen, Gefäfsverlegungen oder sonstige Veränderungen.

Der zweite Hund (8000 g schwer) erhielt, ebenfalls drei Monate lang, bei gleichem Futter, täglich 60 mg SO_2 in 0,06proz. Lösung.

Protokollauszug II.

Schwarzer Hund (Gewicht = 8000 g).

6. — 14. II. 04: Futter täglich 500 g rohes Pferdefleisch abends ca. 1/4 bis 1/2 Stunde nach der letzten SO_2-Dosis. Zweimal täglich je 60 mg SO_2 in 0,06 proz. Lösung mittags gegen 12 h und abends zwischen 5 und 6 h. SO_2-Gabe ausgesetzt am 7., 9. und 14. II. Durchfälle in den Nächten zum 10., 11., 13. und 14. II. Erbrechen von etwas Flüssigkeit mit käsigen Massen kurz nach Eingabe der SO_2-Lösung am 10., 11. und 12. II., stets abends nach der zweiten Dosis. Aufserdem Erbrechen am 10. II. 10 h 30′ a. m. und am 12. II. abends beim Fressen. Gewicht am 10. II. 7600 g, am 13. II. 7550 g. **15. II. — 13. V. 04:** Futter täglich 200 g Brot und 300 g rohes Pferdefleisch abends mindestens 1/4 Stunde nach der letzten SO_2-Dosis. Täglich 1—2 mal je 60 mg SO_2 in 0,06 proz. Lösung mittags gegen 12 h und abends zwischen 5 und 6 h. SO_2-Gabe ausgesetzt am 21. II., 6., 13., 20. und 27. III., 1., 3., 4., 5., 16.—20. und 24. IV., 1., 8., 9. und 12. V. Durchfall in der Nacht zum 16. II. Erbrechen kurz nach Eingabe der SO_2-Lösung am 4. und 7. III. (nach jeder der beiden Dosen), 11. und 28. IV. Aufserdem Erbrechen in der Nacht zum 2. IV. Gewicht am 29. II. 7400 g, am 5. V. 8100 g. **14. V. 04:** Tötung 5 h 5′ p. m. 2 g Chloralhydrat + 0,01 g Morphin. hydrochl. subkutan. 5 h 25′ 2 g Chloralhydrat intravenös (V. jugul. sin.). 5 h 30′ — 6 h 10′ Verbluten aus der A. carotis dextra unter Durchspülen von ca. 5 l 38° warmer physiologischer Kochsalzlösung und unter künstlicher Sauerstoffatmung. 6 h 10′ Exitus ohne irgendwelche Krämpfe bei ungestörtem Durch- und Ausflufs der Durchspülungsflüssigkeit.

Bei ihm trat, wie man sieht, neben dem nur einmal in dieser Zeit beobachteten Durchfall doch schon recht häufig Erbrechen kurz nach dem Eingeben der Lösung, einmal auch nachts, ein. Im übrigen zeigte aber auch dieses Tier ein völlig normales Befinden. Sein Gewicht nahm während des Versuches zunächst allerdings um 600 g ab, hob sich aber wieder, so dafs es am Ende des Versuches das anfängliche war. Nach der im beifolgenden Protokollauszuge beschriebenen, in derselben Weise wie beim vorigen Hunde ausgeführten Tötung zeigten sich bei der Sektion vier stecknadelkopfgrofse, dunkel bräunlich gefärbte und also wohl ältere Blutungen in den Lungen, und auch im Rektum fanden sich einzelne scharf umschriebene kleine Blutungen. Die Schleimhaut des Magens machte unmittelbar nach dem Tode den Eindruck, als ob sie schwach adstringiert sei: sie hatte ihr transparentes Aussehen verloren und erschien mehr opak. Im übrigen waren keine sichtbaren Veränderungen weder in diesen noch in sonstigen Organen vorhanden.

Bei einem dritten Hunde wurde, da er sich als nicht gesund erwies, der Versuch abgebrochen und statt dessen ein solcher mit einer Katze angeschlossen, da sich inzwischen die Katzen als empfindlicher und deshalb zu den Versuchen entschieden besser geeignet gezeigt hatten.

Eine 3400 g schwere Katze, die der Sicherheit halber vorher 8 Tage lang im Laboratorium beobachtet war und während dieser Zeit stets normales Befinden gezeigt hatte, erhielt 55 Tage lang per os (durch Schlundsonde), mit Ausnahme von 13 Tagen, 60 mg SO_2 in 0,06 proz. Lösung. Gleich bei den ersten Dosen trat Zittern in erheblichem Mafse ein; das Tier litt entschieden Schmerzen und machte überhaupt einen trübseligen, kranken Eindruck. Dazu kamen häufig völlige Appetitlosigkeit, ferner Würgbewegungen zu verschiedenen Tageszeiten, die sich oft zum Erbrechen steigerten. Eine während der ganzen Versuchszeit auftretende Erscheinung waren die fortwährenden Durchfälle, an denen das Tier litt, mit oft schwarz gefärbten Stühlen, denen verschiedentlich auch Blut beigemengt war. Das Gewicht der Katze nahm während des Versuches um 350 g ab. Bei der Sektion — der Tod wurde in derselben Weise und mit derselben Vorsicht herbeigeführt wie bei den Hunden — zeigten sich im Magendarmkanal keine, aber in der Lunge zahllose, punktförmige Blutungen verschiedenen Alters. In anderen Organen waren Blutungen nicht zu finden, vielmehr waren Leber und Nieren ganz normal, und nur das Herz zeigte degenerative Veränderungen, deren Natur nicht genauer untersucht wurde, die aber allem Anscheine nach anderen Ursprungs waren. An der Magenschleimhaut fand sich dieselbe schwache Adstringierung wie bei dem zweiten Hunde: die Transparenz war einem mehr opaken Aussehen gewichen. Die unteren Darmteile waren hyperämisch, aber Blutungen fanden sich hier, wie schon erwähnt, so wenig wie im Magen.

Aus diesen Dauerversuchen ist ersichtlich, dafs bei Hunden nur verhältnismäfsig geringe, objektiv direkt nachweisbare Störungen durch den dauernden Genufs kleiner Mengen freier SO_2 bedingt werden. Und auch bei der Sektion war in unsern

beiden Fällen der Befund ein ganz oder doch nahezu negativer; denn es ist wohl kaum angängig, den vereinzelten Blutungen bei dem zweiten Hunde gröfsere Bedeutung beizumessen, da erfahrungsgemäfs solche auch bei normalen Tieren vorhanden sein können. Sind schon beim zweiten Hunde die Erscheinungen intra vitam, entsprechend der gröfseren SO_2-Gabe, etwas deutlicher, so treten sie bei dem Katzenversuche ausgesprochen sehr hervor. Während des ganzen Versuches war das Tier in seinem Allgemeinbefinden derart gestört, dafs wir es als schwer krank bezeichnen müssen. Und vor allem lehrt dieser Versuch, dafs trotz der langen Dauer eine Gewöhnung an die SO_2-Lösung keineswegs eingetreten ist; vielmehr blieben die von Anfang an auftretenden Störungen während des ganzen Versuches ungeschwächt bestehen. Auch der Sektionsbefund war bei der Katze ein nicht so normaler, wie bei den Hunden, und die zahllosen Blutungen in der Lunge dürften doch wohl als eine Folge der SO_2-Zufuhr anzusehen sein, wennschon nicht unbedingt auszuschliefsen ist, dafs sie indirekt durch das heftige Erbrechen hervorgerufen sein könnten, somit also nicht als Folge einer spezifischen ev. Blutgiftwirkung des SO_2 aufzufassen wären. Die Sektionsbefunde, speziell auch die Blutungen, werden weiter unten noch berücksichtigt werden.

Aus den bisher besprochenen Versuchen ergibt sich somit, dafs bereits Einzelgaben von 40 mg SO_2 in 0,04 proz. Lösung an Katzen und bei wiederholter Aufnahme 60 mg SO_2 in 0,06 proz. Lösung am Hunde sowohl, wie an der Katze, noch deutlich nachweisbare Wirkungen hervorrufen. Es ist aber ohne weiteres klar, dafs mit diesen objektiven Befunden keineswegs die Grenze der SO_2-Wirkung erreicht ist. Wo auch objektiv an Tieren keine nachteiligen Wirkungen mehr nachzuweisen sind, können doch noch subjektive Beschwerden verschiedenster Art vorhanden sein, die eben am Tier nur nicht sicher festzustellen sind.

Solche, nur subjektiv wahrnehmbare Erscheinungen bedingende Gaben werden aber doch unbedingt auch noch als wirksam zu betrachten sein und demgemäfs für die Beurteilung

der Wirkungsgrenze der SO_2 von uns berücksichtigt werden müssen.

Sie lassen sich natürlich nur an dem sich selbst beobachtenden Menschen konstatieren, und es sind deshalb solche Versuche am Menschen hier unerläfslich, zumal auch die Erfahrung lehrt, dafs es nicht angängig ist, ohne weiteres die Resultate von Tierversuchen auf den Menschen zu übertragen. Dabei wird freilich eine gewisse subjektive Beeinflussung der zur Beobachtung gelangenden Empfinduug nicht ganz zu vermeiden sein und besondere Rücksicht auf ev. Selbstsuggestion genommen werden müssen. Wie wir die letztere nach Möglichkeit auszuschalten versuchten, werden wir weiter unten erörtern.

Natürlich wurde bei den Versuchen die gröfste Vorsicht gebraucht, einerseits um die Versuchspersonen nicht etwa wirklich zu schädigen und sodann auch, um sicher einwandfreie Resultate zu gewinnen. Ersteres wurde dadurch zu vermeiden gesucht, dafs, abgesehen von einigen Selbstversuchen, die Versuche stets abgebrochen wurden, sobald die Störungen im Befinden sich heftiger zeigten. War es schon bei den Tierversuchen nötig, zur Erhaltung gleichmäfsiger Werte die Neutralisation der eingegebenen SO_2-Lösung nach Möglichkeit zu verhindern, so war das bei diesen Versuchen an Menschen natürlich noch unerläfslicher, da die SO_2-Lösung nicht durch eine Sonde eingeführt, sondern getrunken wurde. Dadurch hatte sie bereits im Munde Gelegenheit, mit dem durch die Reizung noch vermehrten alkalischen Speichel zusammenzutreffen und somit neutralisiert zu werden. Zur Vermeidung dieser Neutralisation wurde auch hier deshalb die SO_2-Lösung in 0,2 proz. Salzsäure gegeben. Sehr zustatten kam dabei der Umstand, dafs durch den meist ja sehr geringen Gehalt an SO_2 die Salzsäurelösungen in ihrem Geschmack nicht merklich verändert wurden. Diese Tatsache konnte in sehr vorteilhafter Weise benutzt werden, um die oft störende Autosuggestion der Veruchspersonen zu beseitigen, indem ihnen zuweilen statt der SO_2-Lösung ohne ihr Wissen reine Salzsäurelösung gegeben wurde. Zugleich konnte damit auch noch der Beweis erbracht werden, dafs die gegebene Salzsäure-

menge allein für die betreffenden Personen keinerlei unangenehme Erscheinungen im Gefolge hatte. Die Autosuggestion ist, wie von Leuch mit Recht betont wird, oft bei Versuchen am Menschen von sehr störendem Einflufs auf die erhaltenen Ergebnisse, und es wird deshalb ihre Ausschliefsung bei unsern Versuchen entschieden die Zuverlässigkeit der Ergebnisse verstärken.

(Siehe Tabelle II auf S. 116 u. 117.)

Die in der Tabelle II zusammengestellten Versuche sind sämtlich an gesunden Personen, teils an uns selbst und dem Laboratoriumsdiener, teils an Studenten, einige auch an einer jungen Dame angestellt worden. Wie aus der Tabelle ersichtlich, sind nicht alle Versuche unter Beigabe von Salzsäure ausgeführt, und dies macht sich in dem Ergebnis sehr wohl bemerkbar.

Wie zu erwarten, fielen die Versuche, soweit die SO_2-Lösung ohne Salzsäure gegeben wurde, sehr verschiedenartig aus: während in zwei Fällen, und zwar bei den ersten von uns selbst angestellten Proben, 4—5 mg in 0,02 proz. Lösung Druckgefühl im Magen und sogar etwas Leibschmerzen hervorriefen, verursachten bei einem dritten Versuche 50 mg in 0,06 proz. Lösung keinerlei Beschwerden. Wesentlich gleichmäfsiger gestalteten sich die Resultate bei gleichzeitiger Gabe von Salzsäure. Allerdings tritt auch hier noch eine gewisse individuelle Verschiedenheit hervor. Sie wird begründet sein in der verschiedenen Reizbarkeit der Magenschleimhaut und in der allgemeinen Empfindlichkeit der betreffenden Personen, sodann auch in den zur Zeit der Einführung der SO_2-Lösung bestehenden Magenverhältnissen, die natürlich, wenn auch meistens morgens nüchtern die Lösungen genommen wurden, nicht immer gleichmäfsig gewesen sein werden; vielmehr ist es keineswegs ausgeschlossen, dafs selbst über Nacht noch Speisereste im Magen verblieben sein können, die dann natürlich zu einer Verdünnung der eingeführten SO_2-Lösung führen mufsten. Es verursachten 50 mg SO_2 in 0,05 proz. Lösung in allen sechs Fällen deutliche Beschwerden verschiedenster Art: Aufstofsen, Leib- und Kopfschmerzen, Wärmegefühl in Schlund und Magen, besonders bei Beginn des Essens, Stuhldrang und

Tabelle II.

Versuche an Menschen mit freier schwefliger Säure in wässeriger Lösung per os gegeben.

Nr.	Datum	Der Einzeldosis Menge ccm	SO_2-Gehalt mg	SO_2-Konzentrat. %	Lösungsmittel	Zahl der Dosen	Befund	Bemerkungen
1.	24.VI.04	12	12	0,1	Wasser	1	Starker Durchfall.	Prof. Jacobj.
2.	9.III. »	ca. 80	50	0,06	»	1	Keine Beschwerden.	Dr. B. 11 h 35' a. m. genommen.
3.	10. » » bis 13.III. »	» 80	50	0,06	»	4	Nach 3. Dosis Schläfendrücken und schlechtes Allgemeinbefinden; vermehrte Peristaltik. Nach 4. Dosis Befinden schlechter; sehr blasses Aussehen, träger Stuhlgang. Gefühl von Unsicherheit. Beim Trinken »Gefühl, als ob der Magen hart würde«. Flatulenz. Auch am nächsten Tage noch schlechtes Befinden. Druckgefühl beim Atemholen und Druck im Kopfe.	Wärter. Die Dosis wurde jedesmal mittags etwa 1 Std. vor der Mahlzeit genommen.
4.	14.III » bis 17.III »	» 80	50	0,06	»	4	Nach 1. Dosis schwaches Druckgefühl im Leibe; nach 2. Dosis Leibschmerzen; nach 3. Dosis Gefühl von Übelkeit vor dem Abendessen; nachher mehrere Tage Leibschmerzen.	Selbstversuch. Die Dosis wurde morgens nüchtern 1½ Std. vor der Mahlzeit genommen.
5.	3. V. » b. 5. » »	100	50	0,05	HCl 0,2 %	3	Nach 1. Dosis Aufstoßen; nach 2. Dos. Stuhldrang u. Aufstoßen; nach 3. Dos. zweimaliger Durchfall.	Selbstversuch. Morgens nüchtern genommen 1 Std. vor Frühstück.
6.	3. » » b. 6. » »	100	50	0,05	»	4	Nach 4. Dosis Gefühl, »wie wenn der Schlund verbrannt wäre«.	Stud. A. K. Morgens nüchtern genommen.
7.	3. » » b. 4. » »	100	50	0,05	»	2	Nach 1. Dos. Gefühl von Heißwerden im Oesophagus, Unbehagen. Nach 2. Dosis Druckgefühl und Leibschmerzen.	Wärter. Mittags 1½ Std. vor der Mahlzeit genommen.
8.	4. » »	100	50	0,05	»	1	Durchfall.	Stud. A. E. Morg. nücht. g.

9.	4. V. 04	100	50	0,05	HCl 0,2 %	1	Aufstofsen. Beim Essen Wärmegefühl in der Speiseröhre; nachher Gefühl von Übelkeit.	Stud. W. S. Mittags $1^1/_2$ Std. vor der Mahlzeit gen.
10.	22. III. »	50	25	0,05	HCl 0,15 »	1	Gefühl wie Sodbrennen; wiederholtes Aufstofsen vor dem Essen; beim Essen der Suppe plötzlich Wärmegefühl im Magen.	Prof. Jacobj. Vormittags ca. 3 Std. nach dem Frühstück genommen.
11.	22. » »	50	25	0,05	»	1	Druckgefühl im Leibe; danach heftige Leibschmerzen bis zum Abend.	Selbstversuch. Vormittags ca. 3 Std. nach dem Frühstück genommen.
12.	11. V. »	50	20	0,04	HCl 0,2 »	1	Kopfschmerzen, Übelkeit, Leibschmerzen, auch noch am nächsten Tage.	Frl. K. F. Vormittags ca. 2 Std. vor der Mahlzeit genommen.
13.	17. » »	50	20	0,04	»	2	Keine Beschwerden.	Stud. R. F. Morgens nüchtern genommen.
14.	17. » »	50	20	0,04	»	1	» »	Stud. A E. } Hatt. ca $^3/_4$ St. v.
15.	17. » »	50	20	0,04	»	1	» »	Stud. P. B. } d. Vers. gefrüh.
16.	17. » »	50	20	0,04	»	1	Beim Essen Wärmegefühl in der Speiseröhre.	Stud. A. M. Morgens nüchtern genommen.
17.	18. » »	25	10	0,04	»	1	Kopfschmerzen, Übelkeit, Leibschmerzen, besond. am Abend n. Tisch.	Frl. R. F. 6 h abends genommen.
18.	7. III »	100	35	0,035	Wasser	1	Aufstofsen; Druckgefühl und Druckempfindlichkeit am Leibe.	Selbstversuch. $1^1/_2$ Std. vor Mittagsmahlz. genomm.
19.	23. IV. »	100	20	0,02	HCl 0,2 %	1	Keine Beschwerden.	Selbstversuch. Vorm. 2 St. nach d. Frühst. genomm.
20.	4. II. »	—	5	0,02	Wasser	1	Druckgefühl im Magen; nachher unangenehmes Gefühl wie bei grofsem Hunger.	Prof. Jacobj. } Vormitt. gegen 10 h genomm.
21.	4. » »	—	5	0,02	»	1	Druckgefühl im Magen; nachher etwas Leibschmerzen.	Selbstversuch. }

Anhang zu Tabelle II.

Kontrollversuche an Menschen mit wässeriger Salzsäurelösung.

Nr.	Datum	Der Einzeldosis Menge ccm	Der Einzeldosis HCl-Konzentrat. %	Zahl der Dosen	Befund	Bemerkungen
1	15. V. 04	50	0,2	1	Keine Beschwerden	Frl. K. F. Vormittags ca. 2 Std. vor Mittagsmahlzeit genommen.
2	21. » »	50	0,2	1	»	do.
3	19. » »	50	0,2	1	»	Stud. A. E. Morgens nüchtern genommen.
4	17. » »	100	0,2	1	»	Stud. W. S. Wie Nr. 3.
5	21. u. 22 VI. »	100	0,2	2	»	Selbstversuch } Vormittags gegen 10 h genommen
6	21. u. 22.VI. »	100	0,2	2	»	Wärter } Vormittags gegen 10 h genommen

Durchfall. Bei 25 mg SO_2 in 0,05 proz. Lösung (zwei Versuche) traten in einem Fall Sodbrennen, wiederholtes Aufstofsen vor dem Essen, beim Essen plötzliches Wärmegefühl im Magen auf; im anderen Falle Druckgefühl im Leibe und späterhin unangenehme Leibschmerzen. Bei 20 mg in 0,04 proz. Lösung fiel der gröfsere Teil der Versuche — von sechs Versuchen vier — bereits negativ aus. Dabei ist allerdings zu bemerken, dafs zwei Versuchspersonen eine Stunde vor dem Einnehmen der SO_2-Lösung Frühstück zu sich genommen hatten, so dafs durch den Mageninhalt eine gewifs nicht unerhebliche Verdünnung der Lösung eintreten mufste und zudem die SO_2 mit der Schleimhaut nicht so leicht in Berührung kommen konnte. Als besonders empfindlich erwies sich die junge Dame: bei 20 mg SO_2 in 0,04 proz. Lösung klagte sie über Kopf- und Leibschmerzen, und es trat Übelkeit auf, und selbst bei 10 mg in derselben Konzentration waren die Erscheinungen ziemlich dieselben. Zur Beurteilung dieses Versuches sei bemerkt, dafs es sich hier um eine zwar etwas zarte, aber durchaus gesunde und ganz sicher nicht hysterische Dame handelte. Auch die Selbstsuggestion kann hier keine Rolle gespielt haben; denn es wurde ihr zweimal reine Salzsäurelösung gegeben, ohne dafs sie merkte, dafs

es sich blofs um solche handle, jedesmal mit dem Resultat, dafs danach keinerlei Beschwerden sich bemerkbar machten.

Zur Kritik dieser Versuche sei noch bemerkt, dafs aufser uns selbst keine der Versuchspersonen darüber unterrichtet war, in welcher Richtung etwaige Symptome zu erwarten seien. Trotzdem waren die Angaben im ganzen recht übereinstimmend und wurden niemals Klagen geführt über Symptome, die nicht zu dem Bilde der SO_2-Wirkung gepafst hätten.

Man sieht aus den Versuchen, dafs beim Menschen schon aufserordentlich geringe Mengen — in zwei Fällen allem Anscheine nach 4—5 mg in 0,02 proz. Lösung — Störungen im Befinden zur Folge haben können.

Aber auch ohne dafs eine Überschreitung der sensiblen und reflektorischen Reizschwelle, welche zu Übelkeit, Kopfschmerz, Durchfall, Leibschmerzen etc. führt, stattfindet, ist eine Schädigung des Epithels der Magen- und Darmschleimhaut denkbar, und man kann also selbst aus dem Fehlen subjektiver Symptome noch nicht ohne weiteres den Schlufs ziehen, dafs bei einer solchen Verdünnung und Menge der SO_2 wirklich gar keine nachteilige Wirkung mehr eintritt. Auch ohne dafs das Individuum irgendwelche unmittelbaren Folgen (und solche werden ja stets fehlen, wenn die betreffende Wirkung unter der sensiblen Reizschwelle bleibt) empfindet, kann durch Schädigung einzelner Zellen oder Zellgruppen zum mindesten die Widerstandsfähigkeit der betroffenen Teile herabgesetzt werden und hieraus bei längerer Dauer und unter besonderen Bedingungen auch dem Organismus Nachteil entstehen, z. B. bei Anwesenheit pathogener Mikroorganismen, welche zwar von dem normalen Epithel nicht durchgelassen werden, wohl aber bei Schädigung desselben einzudringen vermögen.

Wollten wir die Grenze auch nach dieser Richtung hin noch kennen lernen — und das ist für eine exakte Beurteilung unserer Frage doch unbedingt nötig — so mufsten Versuche angeschlossen werden, welche die Wirkung der freien SO_2 auf lebende Zellen direkt darzutun geeignet waren. Als Versuchsobjekt schienen hier die Flimmerzellen aus dem Froschrachen besonders geeignet,

da sie ein, in der Bewegung der Cilien unmittelbar kontrollierbares Material darstellen. Auch hier wurden die SO_2-Lösungen zunächst mit ausgekochtem, unter Wasserstoff erkaltetem Wasser hergestellt, das zugleich 0,6% Kochsalz enthielt. Um die Zellen aber nicht durch Sauerstoffmangel zu schädigen, mufsten unmittelbar vor dem Versuche die Lösungen kräftig mit Sauerstoff geschüttelt werden. Wenn auch dabei, wie wir vorher feststellten, in der kurzen Zeit nur relativ sehr wenig SO_2 der Oxydation anheimfällt, so bedeutet doch immerhin die notwendige Schüttelung mit Sauerstoff eine kleine Fehlerquelle, die noch etwas vergröfsert wird dadurch, dafs das vorher in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrte Flimmerepithel natürlich von dieser nicht völlig gesäubert werden konnte, so dafs also auch eine geringe Verdünnung der SO_2-Lösung hinzukam. Neben jedem Versuche wurde ein Kontrollversuch mit in genau derselben Weise zubereiteter physiologischer Kochsalzlösung und einer Portion Zellen desselben Präparates angestellt.

Während bei den normalen Kontrollversuchen regelmäfsig noch stundenlang die Flimmerbewegung bestand, zeigte sich bei den Versuchen mit SO_2-Lösung ein je nach der Konzentration mehr oder weniger schnelles Aufhören derselben: eine 0,065 proz. SO_2-Lösung liefs das Flimmern sofort, eine 0,036 proz. nach 1 Minute, eine 0,012 proz. nach 20 Minuten, eine 0,006 proz. nach 48 Minuten aufhören.

Zum Vergleiche wurden auch einige Versuche mit Salzsäure unter genau denselben Bedingungen angestellt, und es zeigte sich da, dafs die Wirkung der Salzsäure eine wesentlich schwächere ist. Eine 0,065 proz. HCl-Lösung hob das Flimmern nach 6 Minuten, eine 0,036 proz. Lösung nach 20 Minuten auf. Eine 0,012 proz. HCl-Lösung hatte insofern noch Wirkung, als die Flimmerbewegung zum Teil etwas an Lebhaftigkeit verlor, aber selbst nach 2 Stunden — länger wurde das Präparat nicht beobachtet — war sie noch keineswegs verschwunden.

Es ist also die Wirkung der freien SO_2 auf isolierte Zellen eine nicht unerheblich stärkere als die der Salzsäure; ja, in dieser Wirkung finden wir sogar nahezu den Anschlufs an die von Leh-

mann konstatierte von seiten der gasförmigen SO_2, die bei 0,004% recht unangenehme Beschwerden in den Luftwegen verursachte.

Tabelle III.

Versuche mit Flimmerepithel aus dem Froschrachen.

Es tritt Stillstand der Flimmerbewegung ein:

Bei einer Konzentration von	0,4 %	0,24 %	0,065 %	0,036 %	0,012 %	0,006 %
Bei HCl. . . .	—	—	nach 6 Min.	nach 20 Min.	nach 2 Std. abgenommen, aber noch ziemlich lebhaft	—
Bei SO_2-Ionen (als Natr.-Sulfit)	nach 48 Min.	n. 1 Std. normal	—	—	—	—
Bei freier SO_2	—	—	sofort	nach 1 Min.	20 Min.	48 Min.

Also verhalten sich die Wirkungen der drei Substanzen, die der ionalen SO_2 = 1 gesetzt

SO_2-Ionen : HCl : freier SO_2
1 : 22 : 66.

Mit dieser Feststellung des Einflusses auf einzelne Zellen haben wir wohl die Grenze des überhaupt Nachweisbaren bei Verwendung freier SO_2-Lösung erreicht. Kurz zusammengefafst liefern unsere Versuche über die wässerige Lösung der freien SO_2 den Beweis, dafs auch diese, ebenso wie die gasförmige, wasserfreie SO_2, eine heftig reizende, die Gewebe, mit denen sie zusammentrifft, mehr oder weniger schwer schädigende Substanz ist. Ihre Wirkung läfst sich zunächst grob anatomisch nachweisen, indem sie noch bei einer Konzentration von 0,1% sichtbare Reizerscheinungen am Katzendarm und -Magen hervorruft. Weit darüber hinaus ist die wässerige freie SO_2 noch imstande, an gesunden Katzen mehr oder weniger schwere Störungen im Befinden zu veranlassen, die sich bis zu einer Konzentration von 0,04proz. SO_2 in einer Gesamtmenge von 40 mg SO_2 noch objektiv nachweisen lassen. Am Menschen treten subjektive Symptome schon bei weit kleineren Gaben ein. Vielleicht können schon 4—5 mg in 0,02 proz., sicher aber 10 mg in 0,04 proz.

Lösung, solche zur Folge haben. Endlich zeigt die freie wässerige SO_2 gegenüber isolierten Zellen in ihrer Wirkung einen Grad, der dem bei der gasförmigen SO_2 beobachteten recht nahe kommt, indem bereits eine 0,006 proz. Lösung imstande ist, lebende Flimmerzellen abzutöten.

Überall da, wo freie wässerige SO_2 Gelegenheit findet, im menschlichen Körper in solchen Konzentrationen zu wirken, werden wir demgemäfs auch mit einer eventuellen Schädigung der Organismen zu rechnen haben.

Diese Wirkung der freien wässerigen SO_2 wird aber stets nur eine lokale Reizwirkung mit ihren reflektorischen Folgen sein, und sie wird sich nur da geltend machen können, wo im Körper eine saure Reaktion herrscht. Dies ist der Fall z. B. im Magen und unter Umständen auch im Darm. Ist jedoch die Resorption der SO_2 erfolgt, so wird ihre Wirkung als solche aufhören müssen, da die im allgemeinen alkalischen Körperflüssigkeiten sofort eine Bindung der SO_2 durch Salzbildung zur Folge haben werden, es sei denn, dafs vielleicht an einzelnen Stellen des Körpers, zeitweilig auch in den Geweben, eine so saure Reaktion herrschte, dafs die Säure sich wieder frei zu machen vermöchte, worauf wir weiter unten zurückkommen werden.

II. Wirkung der Salze.

Treten nach der Resorption Allgemeinwirkungen nach Aufnahme von SO_2 auf, so werden wir diese nach dem soeben Besprochenen im allgemeinen nicht als solche der freien SO_2, sondern vielmehr als solche der unter dem Einflufs der alkalischen Körperflüssigkeiten entstandenen SO_2-Salze ansehen müssen. Es ist deshalb zunächst notwendig, zu fragen, ob den SO_2-Salzen eine spezifische Giftwirkung zukommt und welcher Art ev. dieselbe ist. Bei der ungemein leichten Dissoziierbarkeit der SO_2-Salze, wie sie von Kerp festgestellt ist, haben wir eine Wirkung der SO_2-Salze wohl aufzufassen als solche der durch die Dissoziation wirksam gewordenen SO_2-Ionen.

Dafs den SO_2-Ionen keine nennenswerte lokale Wirkung zukommt, dafür haben wir bereits oben in unsern Versuchen am Flimmerepithel einen Anhaltspunkt gewonnen; wir haben uns deshalb jetzt nur mit einer ev. Allgemeinwirkung nach der Resorption zu beschäftigen. Für eine solche ist natürlich von gröfster Wichtigkeit die Art der Einverleibung der SO_2-Salze, da die subkutane und besonders die intravenöse Injektion bekanntlich für das Wirksamwerden erheblich günstigere Verhältnisse schafft als die Gabe per os. Bei letzterer werden deshalb, falls überhaupt den SO_2-Ionen eine spezifische Giftwirkung zukommt, entsprechend den später zu erwähnenden Oxydationsverhältnissen, gröfsere Gaben nötig sein, um sie zu erzielen, als bei subkutaner oder intravenöser Injektion.

Aus den in der Literatur vorliegenden Untersuchungen geht in unzweideutiger Weise hervor, dafs in der Tat den SO_2-Salzen eine spezifische Giftwirkung zukommt. Lediglich die Versuche Lebbins[1]) scheinen dagegen zu sprechen. Nach seinen Angaben konnte er Kaninchen mehrere Tage hintereinander je 10 g Natriumsulfit in 25proz. Lösung per os geben, ohne dafs die Tiere intra vitam oder — getötet — bei der Sektion irgendwelche krankhafte Veränderungen zeigten, und er ist deshalb geneigt, die SO_2-Salze bezüglich ihrer Wirkung an Harmlosigkeit mit dem Kochsalze auf eine Stufe zu stellen, welcher Ansicht sich, hauptsächlich auf Grund der Lebbinschen Versuche, Liebreich[2]) angeschlossen hat. Schon einzelne Versuche von Kionka und Ebstein[3]) widerlegen jedoch vollkommen diese Ansicht, und da Lebbin eine Analyse des von ihm benutzten Sulfites nicht gibt, so wird man annehmen müssen, dafs seine Resultate auf die Verwendung eines an SO_2 sehr armen Präparates zurückzuführen sind. Gaben Kionka und Ebstein Kaninchen 10 g chemisch reinen Natriumsulfites (Merck) in 10—25proz. Lösung per os, so trat regelmäfsig nach 20—50 Min. der Tod ein.

1) Die Konservierung und Färbung von Fleischwaren. Berlin 1901.

2) Ärztliche Sachverständigenzeitung, 1901, Nr. 24.

3) Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten, 1902, Bd. 41, S. 123.

Genauere Angaben über die Wirkung der SO_2-Salze macht Pfeiffer in seiner oben zitierten Arbeit. Er gibt an, dafs $^1/_2$—1 ccm Natriumsulfit einer 2—4—8 proz. Lösung, subkutan injiziert, beim Frosche absteigende Lähmung des Zentralnervensystems bewirken. Gleichzeitig mit dieser entwickelt sich eine Lähmung des Herzmuskels. Die Wirkung bei Warmblütern (P. benutzte Kaninchen, Meerschweinchen, weifse Mäuse, Katzen und Hunde), beruht nach Pfeiffers Ansicht augenscheinlich auf einer intensiven Störung der Atmung und des Kreislaufes. Das Erhaltensein der willkürlichen Bewegungsfähigkeit und des Bewufstseins spricht nicht für eine stärkere Einwirkung auf die betreffenden zentralen Gebiete. Zunächst tritt bei Warmblütern ein Absinken des Blutdruckes auf 30—40 mm Quecksilber ein, dann folgt Lähmung des vasomotorischen Zentrums, sodann periphere Gefäfslähmung und zuletzt Herzmuskellähmung. Die Abnahme der Atmung tritt bisweilen plötzlich, zugleich mit der peripheren Gefäfsmuskellähmung ein, meist aber geht sie parallel dem Sinken des Blutdrucks. Bei subkutaner Anwendung fand Pfeiffer für Kaninchen 0,6 g Na_2SO_3, bei intravenöser Injektion für Kaninchen 0,2 g, für Katzen 0,4 g pro kg tödlich. Verminderte er bei intravenöser Injektion die Einlaufgeschwindigkeit, so trat der Tod erst nach entsprechend gröfseren Dosen ein. Dies hat seinen Grund darin, dafs das Sulfit ziemlich schnell teils ausgeschieden, teils auch vor der Ausscheidung bereits durch Oxydation zu Sulfat unschädlich gemacht wird. Diese Oxydation geht, wie die Ausscheidungsversuche von Pfeiffer zeigen, recht schnell vor sich; bereits nach drei Stunden ist alles dem Körper einverleibte Sulfit in Sulfat verwandelt und nur ein geringer Bruchteil — ca. 3,4 % — wird, hauptsächlich in der zweiten und dritten Stunde nach der Injektion, als Sulfit wieder ausgeschieden. Auf diese schnelle Oxydation des Sulfites führt Pfeiffer wohl mit Recht die Tatsache zurück, dafs die Tiere, denen nicht tödliche Dosen verabfolgt wurden, sich so aufserordentlich schnell erholten, wie er das stets beobachten konnte. Bei der Gabe per os waren zum tödlichen Ausgang erheblichere

Mengen des Salzes nötig, doch waren die beobachteten Krankheitserscheinungen ziemlich dieselben.

Alle diese Angaben Pfeiffers sind neuerdings im grofsen und ganzen bestätigt worden durch Versuche, die im Kaiserlichen Gesundheitsamt von Sonntag[1]), sowie von Rost und Franz[2]) angestellt worden sind. Hier wurden die Sulfitmengen teils subkutan oder intravenös, teils auch per os gegeben. Es sei besonders erwähnt, dafs die Versuche auch auf verschiedene andere SO_2-Salze ausgedehnt wurden, und dafs die im Original genau beschriebenen Symptome stets gleicher Art waren, im allgemeinen Lähmungserscheinungen mit nachfolgendem Tode unter mehr oder weniger hervortretenden Zuckungen. Die von Rost und Franz genau festgestellten tödlichen Dosen waren bei den verschiedenen SO_2-Salzen verschiedene, beim Natrium sulfurosum in 10proz. Lösung betrug sie, bei Einführung per os für das Kaninchen 2,825 g Na_2SO_3 (= 0,65 g SO_2) pro kg.[3])

Im Anschlufs an diese Versuche aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte sind auch von uns solche mit Applikation per os angestellt mit Natriumsulfitlösung.

Sie finden sich in der beifolgenden Tabelle IV (Nr. 2, 6, 9, 12). Ihre Ergebnisse decken sich mit denen von Rost und Franz vollkommen. In dem einen Falle, wo das Versuchstier bereits nach 0,55 g pro kg einging, handelte es sich um ein junges, noch nicht ausgewachsenes Tier. Auch wir haben nach Möglichkeit die Lösung in den leeren Magen gebracht und haben dies dadurch zu erreichen gesucht, dafs wir die Tiere vor dem Versuche 24 Stunden lang mit Maulkorb hungern liefsen. Abgesehen von dem einen erwähnten Falle zeigten auch unsere Tiere, falls nicht die tödliche Dosis von 0,65 g SO_2 pro kg gegeben wurde, äufserlich keine Krankheitserscheinungen. Andernfalls liefsen sie nach 20—50 Minuten plötzlich den Kopf sinken, vermochten

1) Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte, 21. Bd., 1904, S. 285.

2) Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte, 21. Bd., 1904, S. 312.

3) In die Blutbahn eingeführt, bewirkten bei gleichmäfsigem Einlauf 8 ccm in 2,96proz. SO_2-Lösung als neutrales Salz nach 17 Minuten den Tod eines ca. 1,5 kg schweren Kaninchens. Also ca. 0,08 SO_2 pro kg. Tier erwiesen sich bei dieser Applikation als tödlich.

Tabelle IV.

Versuche an Kaninchen mit

Nr.	Datum	Gewicht	Dosis SO_2 pro kg	Oxydation erleichtert durch	Oxydation erschwert durch	Beginn d. Symptome nach Minut.	Eintritt des Todes nach Minut.
	1904	g	g				
1	9. VI.	1300	0,65	Subkutaninjekt. von 10 ccm 0,5 proz. Natr. carb. vor Sulfitgabe	—	65	78
2	9. »	1400	0,65	—	—	24	38
3	9. »	1450	0,65	—	Aufenthalt in 0,1 pr. CO	42	45
4	11. »	1800	0,65	Atmung von reinem Sauerstoff	—	54	56
5	11. »	1800	0,65	—	Aufenthalt in 0,1 pr. CO	45	58
6	11. »	2000	0,65	—	—	32	44
7	4. VII.	1350	0,50	—	Aufenthalt in 0,3 pr. CO	?	95
8	15. »	1300	0,55	—	Aufenthalt in 0,3 pr. CO	42	64
9	15. »	1200	0,55	—	—	18	35
10	15. »	1800	0,65	Viermalige Injekt. v. je 10 ccm 0,5 prz. Natr. carb. in 1 Std. 35 Min.	—	—	—
11	18. »	1950	0,55	—	Aufenthalt in 0,3 pr. CO	25	45
12	18. »	1875	0,55	—	—	—	—
13	18. »	1700	0,70	Dreimal. Injekt. v. je 10 ccm 0,5 proz. Natr. carb. innerh. 45 Min	—	36	39

Tabelle IV.

10 proz. Natriumsulfitlösung.

Nr.	Krämpfe	Sektionsbefund	Bemerkungen
1	mittel	Lungen: Einige Blutungen	—
2	zieml. heftig	Linke Niere: Eine Blutung	—
3	ein Anfall	Lungen: Einige Blutungen Herz: Eine Blutung an der Klappengrenze	—
4	ein Anfall	Magen: Einige Blutungen im Fundus	—
5	heftig	Lungen: Zahlreiche Blutungen Magen: Zahlreiche Blutungen Nieren: Eine Blutung Muskeln: Eine Blutung an der Innenseite des l. Oberschenkels	—
6	mittel	Lungen: Mehrere Blutungen Herz: Zwei Blutungen an der Klappengrenze des r. Herzens Magen: Zahlreiche kleine Blutungen im Fundus	Schwangeres Weibchen
7	mittel	Lungen: Sehr ausgedehnte und zahlreiche Blutungen Nieren: Links eine, rechts mehrere Blutungen an der Aufsenwand Muskeln: Keine Blutungen	Eine Stunde nach Beginn d. Versuches wurde das Tier aufgebunden, atmete durch Trachealkanüle 0,3% CO und es wurde 15 Min. lang der l. Nerv. ischiad. durch elektr. Strom gereizt
8	heftig	Lungen: Zwei kleine Blutungen	Nicht ausgewachsenes Tier
9	»	Keine Blutungen	Nicht ausgewachsenes Tier
10	—	—	Bleibt normal
11	mittel	Lungen: Zahlreiche Blutungen Magen: Zahlreiche Blutungen	—
12	—	—	Bleibt normal
13	mittel	Herz: Kleine Blutungen an der Wand des r. Herzohres	—

sich nicht mehr aufrechtzuerhalten, verfielen für kurze Zeit in Zuckungen, und darauf trat nach einigen schnappenden Atemzügen der Tod ein.

Alle diese Ergebnisse lehren, dafs die SO_2-Salze durchaus nicht so völlig harmlos für den Organismus sind, wie Lebbin dies behauptet hat, und keineswegs gleich dem Kochsalz blos bei sehr hoher Konzentration osmotische »Salzwirkungen« auf den Körper auszuüben imstande sind, sondern dafs ihnen eine deutliche spezifische Giftwirkung zukommt. Diese Wirkung zeigt bei den verschiedenen SO_2-Salzen stets nur graduelle Unterschiede, und daraus mufs allerdings ohne weiteres der Schlufs gezogen werden, dafs sie lediglich von der allen gemeinsamen SO_2-Komponente verursacht wird, d. h. dafs wir es mit einer Wirkung der durch Dissoziation aus den Salzen entstandenen SO_2-Ionen zu tun haben.

Diese Wirkung der SO_2-Ionen tritt aber nur hervor, wenn eine bestimmte Menge derselben im Blute zirkuliert, und da der Organismus imstande ist durch Oxydation die SO_2-Ionen verhältnismäfsig schnell unschädlich zu machen, so bedarf es immerhin recht erheblicher Mengen der SO_2-Salze — besonders bei der allmählicher verlaufenden Resorption, nach Applikation per os, um die ionale SO_2-Wirkung zustande zu bringen. Wenn wir annehmen, dafs die Wirkung auf den Menschen der auf Kaninchen gleichkommt, so würde z. B. bei gleichen Resorptionsbedingungen für einen 70 kg schweren Menschen bei Aufnahme per os die tödliche Dosis erst bei 200 g Natrium sulfurosum (entsprechend einem Gehalte von reichlich 45 g SO_2) liegen. Man wird demnach von den den Nahrungsmitteln zur Konservierung zugesetzten Sulfitmengen solche allgemeinen spezifischen Wirkungen im Sinne eines lähmenden Nervengiftes nicht wohl zu erwarten haben und diese Salze also nach ihrer Resorption in dieser Hinsicht in der Tat als unbedenklich ansehen können.

Nun darf man aber nicht vergessen, dafs sehr leicht aus den Sulfiten unter der Einwirkung anderer Säuren die schweflige Säure freiwerden und dann als solche die oben geschilderte Wirkung entfalten kann. Diese Möglichkeit ist im Körper aber zweifel-

los gegeben und zwar überall da, wo saure Reaktion herrscht, also zunächst sicher in dem, die Salze bei Applikation per os zunächst aufnehmenden Magen, dessen Inhalt ja normalerweise stets unter Säurewirkung steht. Auch im Darm kann aber unter Umständen — z. B. bei Gärungsvorgängen — die an sich alkalische Reaktion eine saure werden, sei es durch die bei abnormer Zersetzung entstehende Milch-, Essig- oder Fettsäure im Dünndarm, oder auch normalerweise im Dickdarm, dessen Inhalt ja meist sauer reagiert.

Wenn nun, wie wir gleich sehen werden, nach Einführung auch geringer Mengen von Sulfit in den Magen Erscheinungen auftreten, welche mit den, durch die allgemeine Wirkung der SO_2-Ionen bedingten durchaus nicht das Geringste gemein haben, dahingegen völlig identisch sind mit denjenigen, die wir als Folgen der lokalen Wirkungen freier SO_2 kennen gelernt haben, so liegt der Gedanke sehr nahe, dafs es sich hier in der Tat um solche handelt, die zustande kommen durch das Wirksamwerden der infolge der eben erwähnten sauren Reaktion aus den Salzen freigewordenen SO_2. Liegen die Verhältnisse aber derart, dann ist selbstverständlich das Auftreten dieser Erscheinungen und ihre Intensität von obiger Voraussetzung abhängig und also keineswegs regelmäfsig zu erwarten, und hiermit stimmen denn auch die Ergebnisse der verschiedenen diesbezüglichen Untersuchungen überein, welche in dieser Richtung die gröfsten Differenzen aufweisen.

So fielen z. B. Versuche von Polli, über die er in der oben zitierten Arbeit berichtet, derart günstig aus — er selbst nahm ohne Schaden 8—12 g Magnesia sulfurosa innerhalb von 24 Stunden —, dafs er daraufhin die verschiedensten Sulfite als Heilmittel gegen fieberhafte Erkrankungen aller Art empfahl, und von verschiedenen Seiten wurden seine Angaben z. T. bestätigt, so dafs besonders in Italien die Sulfite vielfach als Medikamente zur Verwendung kamen. Freilich hat man den Gehalt der angewendeten Salze an SO_2 nicht bestimmt und mögen die wirklich aufgenommenen Mengen der Sulfite wohl erheblich geringere gewesen sein als den angegebenen Zahlen entspricht.

Hinsichtlich der Frage, inwieweit die Sulfite bei der Nahrungsmittel (speziell Fleisch-) Konservierung Verwendung finden dürften, haben dann wieder Lebbin[1]) und Lebbin und Kallmann[2]) in verschiedenen Arbeiten nachzuweisen gesucht, dafs der Genufs auch gröfserer Sulfitmengen keinerlei gesundheitliche Folgen nach sich ziehe. Bei ihren an Hunden angestellten Versuchen fanden sie, dafs auch nach Zusatz grofser Mengen Natriumsulfit zum Futter keinerlei Störungen im Befinden der Tiere auftraten. Lebbin berichtet auch über einen Versuch an seinem Laboratoriumsdiener, dem er längere Zeit hindurch Hackfleisch mit Präservesalz ohne irgendwelchen Schaden geben konnte. Dabei darf aber nicht unbeachtet gelassen werden, dafs eventuell infolge gesteigerter Speichelsekretion die Bedingungen für eine saure Reaktion im Magen herabgesetzt worden sein können. Es ist ja klar, dafs, wenn man für anhaltende alkalische Reaktion im Magen sorgen würde, man nach dem oben Auseinandergesetzten eventuell auch recht ansehnliche Mengen Sulfit zur Aufnahme bringen könnte, ohne dafs sie Gelegenheit finden, eine Wirkung geltend zu machen. Sind aber die Bedingungen der sauren Reaktion im Magen erfüllt, so fallen die Versuche eben anders aus.

So gibt im Gegensatz zu Lebbin z. B. Bornträger[3]) an, dafs bei ihm der Genufs auch ganz geringer Sulfitmengen, wie sie sich z. B. gelegentlich in Bockwürstchen finden, bereits unangenehme Erscheinungen wie Übelkeit, Kopfschmerzen, Brechneigung etc. herbeiführen, und dafs dasselbe auch bei anderen ihm bekannten Personen der Fall sei.

Wenn schon die Angaben Pollis, wie erwähnt, anfangs von manchen Seiten bestätigt wurden, so mehrten sich doch allmählich die Klagen über unangenehme Nebenwirkungen der Sulfite, und besonders die Versuche von Bernatzik und Braun[4]),

---

1) Deutsche Wurstfabrikantenzeitung, Beilage der allgemeinen Fleischerzeitung, 28. Februar 1901.

2) Zeitschrift für öffentliche Chemie, 1901, S. 324. Medizinische Woche, 17. März 1902.

3) Sammlung von Abhandlungen aus dem Gebiete der Nahrungsmittelhygiene. (Sonderabdruck aus der Zeitschrift ›Gesundheit‹), Leipzig 1900.

4) Siehe oben.

die auf Pollis Angaben hin, aber mit sicher in ihrem Gehalt an SO_2 bestimmten Präparaten, angestellt wurden, sind wohl die Veranlassung gewesen, dafs man auf die doch auftretenden nachteiligen Wirkungen anfmerksam wurde, so dafs die Sulfite recht bald wieder aus dem Arzneischatze verschwanden. Bernatzik und Braun verwandten die verschiedenen von Polli empfohlenen Sulfite bei fieberhaften Puerperalerkrankungen in einer Dosis von je 1 g Salz 2—4 mal täglich, also erheblich weniger als von Polli für absolut unschädlich bezeichnet worden war. In den meisten Fällen war es schon nach einmaliger Gabe nötig, das Medikament auszusetzen, da sich äufserst heftige Durchfälle, Übelkeit, Erbrechen etc. einstellten. Vertragen wurden die Präparate nur in sehr vereinzelten Fällen, aber auch hier führten sie niemals zu einer Besserung des fieberhaften Zustandes. In der Wirkung der verschiedenen Salze zeigte sich kein wesentlicher Unterschied, vielmehr waren die Erscheinungen bei allen angewandten Präparaten ziemlich gleichmäfsig dieselben.

Über ähnliche Symptome berichtet Schulz[1]) bei der Wiedergabe seiner an Hunden angestellten Versuche. Obgleich er den Tieren nur 0,12—0,13% des ca. 80% Natriumsulfit enthaltenden Präservesalzes zum Fleisch gab, statt der auf der Gebrauchsanweisung für die Fleischkonservierung angegebenen 0,2%, so stellten sich doch bei zweien von seinen drei Hunden Durchfälle, völlige Appetitlosigkeit und Erbrechen ein, die nur auf das genossene Natriumsulfit zurückgeführt werden konnten. Auch sonst finden sich in der Literatur sehr vielfach Angaben, nach denen auch geringe Sulfitmengen an Menschen oder Tieren unangenehme Erscheinungen — im wesentlichen die im vorstehenden erwähnten — zur Folge hatten, so z. B. bei Abel[2]), Altschüler[3]), Byk[4]), Hüttner[5]) u. a.

Wie bereits erwähnt, erklärt sich der Gegensatz in diesen Versuchsergebnissen z. T. vielleicht daraus, dafs die Bedingungen

1) Deutsche medizinische Wochenschrift, 1902, Nr. 38, S. 685.
2) Hygienische Rundschau, 1901, Nr. 6.
3) Archiv für Hygiene, Bd. 48, S. 114 und Dissertation, Strafsburg 1902.
4) Deutsche medizinische Wochenschrift, 1902, Nr. 33, S. 598.
5) Vierteljahrschrift für öffentl. Gesundheitspflege, Bd. 35, S. 501.

zum Freiwerden der SO_2 verschiedene waren, aber es liegt doch auch die Vermutung nahe, dafs sowohl Polli wie Lebbin und Kallmann mit Präparaten gearbeitet haben, in denen nur sehr wenig unoxydiertes Sulfit noch vorhanden war, eine Vermutung, die um so näher liegt, da bei ihren Versuchen niemals genaue Angaben über die tatsächlich zur Aufnahme gelangten Sulfitmengen gemacht sind.

Bemerkenswert ist, dafs überall da, wo unangenehme Folgen nach Gabe kleiner Sulfitmengen überhaupt beobachtet wurden, die Symptome stets ähnlich den von Bernatzik und Braun für die freie SO_2, die auch von uns ja für kleinste Mengen der Säure durchaus bestätigt werden konnten, angegeben waren: Übelkeit, Kopfschmerz, Erbrechen, Durchfälle, eventuell auch Entzündungen der Magen- und Darmschleimhaut. Die Übereinstimmung dieser Symptome, die teils auf eine lokale Reizwirkung, teils auf deren reflektorische Folgen hinweisen, zwingt deshalb fast zu der Annahme, dafs es sich um die uns ja bekannte lokale Wirkung freigewordener SO_2 handelt. Die Durchfälle ebenso wie die Magenerscheinungen würden dann wohl auf die, wie im Magen, so auch im Dick- und Mastdarm meist herrschende saure Reaktion mit ihrer, SO_2 aus den Salzen freimachenden Wirkung zurückzuführen sein. Es könnte ja aber sogar die Kohlensäure bei hohem Partialdruck im Darm dieselbe Wirkung haben, auch trotz der sonst alkalischen Reaktion in diesem Teile des Verdauungstraktus.

Dafs wirklich aus den SO_2-Salzen die SO_2 unter Einwirkung anderer Säuren frei werden kann, darüber kann ein Zweifel nicht bestehen, und wie bereits betont, können auch im Körper die Bedingungen hierzu gegeben sein.

Zunächst sind nach den Untersuchungen von Mayer[1]) schon die in verschiedenen Getränken vorkommenden organischen Säuren imstande, SO_2 aus Sulfit frei zu machen. So fand er z. B., dafs bei entsprechendem Zusatz von Natriumsulfit zu Weifsbier ca. 80%, zu Weifswein ca. 100%, zu Rotwein ca. 90% und zu Zitronenlimonade ca. 100% der zugesetzten SO_2 als Säure frei werden.

1) Hygienische Rundschau, XI. Jahrg., 1901, S. 877 ff.

Mindestens ebensosehr kommt diese Fähigkeit natürlich der Salzsäure zu. Dafs auch die im Magen vorkommenden Konzentrationen von 0,2—0,3 % Salzsäure dazu durchaus hinreichen, liefsen einzelne Versuche von Kionka (z. B. Versuch 24) bereits vermuten: Bei der Sektion wurde während der Eröffnung des Magens ein deutlicher Geruch nach SO_2 bemerkbar. Dasselbe berichtet Pfeiffer, und auch wir konstatierten bei verschiedenen mit Sulfit vergifteten Tieren bei Eröffnung des Magens diesen Geruch nach freier SO_2.

Stand somit die Tatsache bereits fest, dafs im Magen die SO_2 aus den Sulfiten unter Einwirkung der Magensalzsäure frei werden kann, so erschien es uns doch auch noch von Interesse, festzustellen, in welchem Mafse dieses Freiwerden von SO_2 bei den im Körper herrschenden Verhältnissen (Konzentration, Temperatur) vor sich geht.

Zu diesem Zweck stellten wir Destillationsversuche an, bei denen nach Möglichkeit die Verhältnisse im Körper berücksichtigt wurden: Im Destillationskolben wurde die betreffende Sulfitlösung im Wasserstoffstrom auf Körpertemperatur erwärmt; alsdann wurde 0,3 % Salzsäure durch einen mit Hahn versehenen Trichter allmählich zugefügt (die Mengenverhältnisse der Flüssigkeiten sind aus der Tabelle V ersichtlich) und die Destillation längere Zeit fortgesetzt. Als Vorlagen wurden Jodjodkaliumlösungen benutzt, und die in dieselben überdestillierte SO_2 nach dem Haasschen Verfahren bestimmt.

Wie die Versuche Nr. 1 und 2 in der Tabelle V auf S. 134 zeigen, ist die gesamte SO_2 bei der Destillation frei geworden; der geringe Verlust bei dem zweiten Versuche erklärt sich daraus, dafs gerade während der Hauptperiode, wegen völligem Erblassens der Jodlösung, die Vorlage gewechselt werden mufste. Zur Kontrolle wurde der Destillationsrückstand auf SO_2 untersucht, doch fand er sich frei von solcher. Also kann der Verlust nur beim Wechseln der Vorlage eingetreten sein.

In derselben Weise vermag natürlich auch im Magen die Salzsäure, aus etwa aufgenommenen Sulfitlösungen, die SO_2 frei zu machen. Dafs sie es wirklich tut, zeigt schon das oben erwähnte Auftreten von SO_2-Geruch bei Eröffnung des Magens von

Tabelle V.

Destillationsversuche von SO_2-Verbindungen mit Säuren bei 37°.

Nr.	Datum	Zur Destillation benutzte		SO_2-Gehalt der zur Destillation benutzten SO_2-Verbindung	Davon im Destillat gefunden		Dauer der Destillation	Bemerkungen [1])
		SO_2-Verbindung	Säure	mg	mg	%	Min.	
1	17. III. 04	100 ccm Natriumsulfitlösung	150 ccm 0,3 proz. Salzsäure	19,8	19,7	99,5	120	Im Vakuum destilliert.
2	21. III. 04	50 ccm Natriumsulfitlösung	60 ccm 0,3 proz. Salzsäure	53,2	49,5	92	30	Während der Hauptperiode mufste die Vorlage gewechselt werden, im Rückstand keine SO_2 mehr. Im Vakuum destill.
3	26. II. 04	50 ccm Natriumsulfitlösung	Kohlensäurestrom	27,5	27,0	98,2	60	Im Vakuum destilliert.
4	16. V. 04	50 ccm Natriumsulfitlösung	50 ccm 0,75 proz. Milchsäure	62,4	61,9	99,2	90	do.
5	25. III. 04	50 ccm Glukoseschwefligsaure Natriumlösung	100 ccm 0,3 proz. Salzsäure	33,6	33,57	99,9	90	do.
6	30. III. 04	50 ccm Glukoseschwefligsaure Natriumlösung	100 ccm 0,3 proz. Salzsäure	33,6	32,3	96,1	120	Vorlage mufste gewechselt werden; im Destillationsrückstand keine SO_2 mehr. Ohne Vakuum destilliert.
7	22. V. 04	200 ccm Auszug aus Aprikosen	150 ccm 0,2 proz. Salzsäure	22,96	5,66	24,6	240	Ohne Vakuum destilliert.
8	18. V. 04	200 g zerkleinerte Aprikosen	200 ccm 0,2 proz. Salzsäure	84,9	5,5	6,9	180	do.
9	22. III. 04	50 g zerkleinerte Aprikosen	250 ccm 0,3 proz. Salzsäure	43,0	12,8	29,8	120	Mit Vakuum destilliert.
10	14. III. 04	50 g zerkleinerte Aprikosen	250 ccm 0,3 proz. Salzsäure	29,7	9,48	31,9	180	do.
11	10. V. 04	50 ccm Lösung von acetaldehyd-schwefligsaurem Natron	100 ccm 0,3 proz. Salzsäure	72,9	10,83	14,85	150	do.

1) Alle Destillationen mit Ausnahme von Nr. 3 wurden im Wasserstoffstrom ausgeführt.

Tieren, die mit Natriumsulfit vergiftet sind. Aufserdem aber haben wir es auch am lebenden Tiere in folgender Weise nachweisen können: gaben wir einer Katze 250 mg SO_2 in einer 0,5 % SO_2 enthaltenden Natriumsulfitlösung, so traten zunächst aufser etwas Zittern keinerlei Erscheinungen auf. Erhielt das Tier dann aber nachträglich noch 50 ccm einer 0,2 proz. Salzsäurelösung, so traten bald nachher Schmerzen, Würgen, Erbrechen und heftige Durchfälle auf wie bei den Versuchen mit freier SO_2. Da wir wissen, dafs die hier gegebene Salzsäuremenge nicht die Veranlassung dieser Symptome sein kann, so ist klar, dafs nur die, durch sie, aus der vorher unschädlichen Sulfitmenge, frei gewordene SO_2 dafür verantwortlich gemacht werden kann.

Wir können eine Besprechung der Wirkung von SO_2-Salzen nicht schliefsen, ohne noch der von Kionka angenommenen Blutgiftwirkung auch kleiner Sulfitmengen bei längerer Aufnahme zu gedenken.

Acht Hunde, denen Kionka[1]) längere Zeit hindurch Fleisch, das mit 0,1 bzw. 0,2 % Präservesalz (dasselbe enthielt 25,34 % SO_2) versetzt war, zu fressen gab, zeigten, mit zwei Ausnahmen, während des Lebens zwar normales Verhalten; nach der Tötung dagegen sah Kionka bei allen Tieren Veränderungen in den verschiedensten Organen. Blutungen und Gefäfsverlegungen in Lunge, Myokard, Leber, Magen, Darm und Nieren, sowie degenerative Prozesse und Entzündungen besonders in den Nieren. Alle diese Erscheinungen glaubt Kionka als spezifische, den SO_2-Salzen zukommende Blutgiftwirkungen deuten zu sollen. Erwähnt sei hier auch, dafs zwei von ihm benutzte trächtige Hündinnen nach der Sulfitbehandlung abortierten, eine Erscheinung, die auch wir bei einem unserer Katzenversuche (cf. Tab. I, Nr. 7) nach Beibringung von freier SO_2 zu beobachten Gelegenheit hatten.

Ebenso wie Kionka, gibt auch Schultz in der zitierten Arbeit an, regelmäfsig Blutungen gefunden zu haben. Da

1) 1. Zeitschrift für Hygiene u. Infektionskrankheiten, 1896, Bd. 22, S. 359.
2. Deutsche medizinische Wochenschrift, 1902, Nr. 6.
3. Ärztliche Sachverständigenzeitung, 1902, Nr. 4.
4. Kionka und Ebstein, Zeitschrift für Hygiene etc., 1902, Bd. 42, S. 123.

gerade die Regelmäfsigkeit des Auftretens solcher Blutgiftwirkungen hier für ihre Beurteilung von Bedeutung sein mufs, so sind alle während unserer zahlreichen Versuche zur Sektion gekommenen Tiere daraufhin genau untersucht worden. Wie schon mehrfach angedeutet, war der Befund ein äufserst wechselnder. Einzelne Blutungen fanden sich allerdings fast in allen Fällen, aber die Erfahrung lehrt, dafs solche auch bei normalen Tieren vorkommen können, und so ist wohl den Blutungen nur dann eine Bedeutung hier beizumessen, wenn sie in gröfserer Zahl auftreten. Dies war unter den chronisch vergifteten Tieren lediglich bei der Katze der Fall, bei beiden Hunden dagegen nicht.

Dieses unregelmäfsige Auftreten der Blutungen dürfte nun doch vielleicht darauf hindeuten, dafs es sich hier nicht einfach um die Wirkung der SO_2-Ionen als solcher handelt; denn wäre dies der Fall, so müfsten sie doch entschieden mit gröfserer Regelmäfsigkeit gefunden werden. Auch ist die direkte Wirkung der SO_2-Ionen eine verhältnismäfsig so schwache, dafs schon ziemlich erhebliche Konzentrationen nötig sind, wenn sie eine sichtbare Schädigung von lebendem Gewebe bedingen sollen. Während, wie wir gezeigt haben, freie SO_2 schon in einer Konzentration von 0,006 % SO_2 Flimmerzellen abzutöten vermag, geschieht dies, wie uns in ganz analoger Weise angestellte Versuche mit Natriumsulfitlösung lehrten, hier erst bei wesentlich höherer Konzentration: erst bei Anwendung einer 0,4 % SO_2 enthaltenden Natriumsulfitlösung wurde die Flimmerbewegung nach 35 bis 40 Minuten aufgehoben. Nun haben ja zwar die Versuche von Pfeiffer gezeigt, dafs bei Einführen grofser Mengen schwefligsaurer Salze in den Tiermagen ein geringer Teil ca. 3,4 % des eingeführten Sulfites als solches wieder ausgeschieden wird. Es liegt also die Möglichkeit vor, dafs auch bei kleineren Gaben für kurze Zeit nicht oxydiertes Sulfit im Körper zirkuliert; dafs sich aber eine Sulfitlösung mit 0,4 % SO_2-Gehalt, wie sie nach unseren Versuchen zur Zellschädigung etwa nötig ist, an einzelnen Körperstellen finden sollte, erscheint wohl sicher ausgeschlossen.

Bei der aufserordentlich intensiven Wirkung, die, wie wir gesehen haben, freie SO_2 auf lebende Zellen auszuüben vermag,

wäre es aber vielleicht denkbar, die beobachteten Blutgiftwirkungen auch wieder auf das Wirksamwerden freier SO_2 sei es auf die Blutkörperchen oder auf die Gefäfswand zurückzuführen, und damit kommen wir zu der Frage, ob es überhaupt möglich ist, dafs SO_2 im Körper nach der Resorption frei werden kann. Pfeiffer weist dies ohne weiteres von der Hand, und als Beweis für seine Ansicht gibt er an, dafs man längere Zeit durch eine Sulfitlösung einen Strom von Kohlensäure, die ja vor allem eventuell das Freiwerden der SO_2 im Körper bedingen könnte, hindurchleiten könne, ohne dafs aus der Lösung SO_2 frei werde. Aus seinen Angaben ist nicht ersichtlich, in welcher Weise Pfeiffer diesen Versuch angestellt hat, und so erscheint es nicht ausgeschlossen, dafs er einen wichtigen Faktor dabei unberücksichtigt gelassen hat, nämlich die Temperatur. Wir haben deshalb, ganz analog den Destillationsversuchen mit Salzsäure, auch einen solchen im Kohlensäurestrome angestellt (Tabelle VI, Nr. 3), und es zeigte sich dabei, dafs Kohlensäure sehr wohl imstande ist, bei Körpertemperatur die SO_2 aus dem Natriumsulfit frei zu machen. In derselben Weise ist dies, wie aus Tabelle V, Nr. 4 ersichtlich ist, bei Milchsäure in einer Konzentration von 0,75% der Fall.

Theoretisch müssen wir deshalb die Möglichkeit eines Freiwerdens von SO_2 nach der Resorption durchaus zugeben an solchen Stellen, an denen im Körper saure Reaktion zustande kommen kann. Dies ist nach heutiger Ansicht z. B. in den Nieren der Fall, sowie im arbeitenden Muskel, in dem durch Anhäufung von Milchsäure die Reaktion sauer werden kann, und auch in den Lungen könnte die Kohlensäure durch ihre Massenwirkung in diesem Sinne sich geltend machen. Es mufs auffallen, dafs gerade diese Stellen es sind, in denen Kionka die zahlreichen Blutungen stets gefunden hat. Unsere Versuche, über diesen Punkt Klarheit zu schaffen, sind aus Tabelle IV ersichtlich. Von der Voraussetzung ausgehend, dafs eine Erschwerung der Oxydation von Sulfit die Chancen für ein Freiwerden von SO_2 verbessern würde, haben wir die mit Natriumsulfit per os vergifteten Tiere (cf. die Versuche auf S. 126 u. 127) z. T. in CO_2-Atmosphäre gebracht und hofften dann zahlreichere Blutungen bei der

Sektion zu finden. Bei den Versuchen Nr. 5, 7 u. 11 ist dies auch in der Tat eingetreten, in Versuch 3 u. 8 aber nicht, so dafs man aus diesen Versuchen zunächst noch keinen sicheren Schlufs ziehen kann, um so weniger, da auch die vor dem Tode hier nie ganz fehlenden, kurzen Krämpfe Blutungen vielleicht veranlafst haben können. Der Versuch 7, bei dem wir durch Reizung einer Muskelgruppe die Bildung von Milchsäure und damit die Chancen für das Freiwerden von SO_2 zu begünstigen versuchten, fiel insofern negativ aus als sich in keinem der gereizten Muskeln Blutungen fanden. Ebenso kann aus den wenigen Versuchen, bei welchen wir durch Erleichterung der Oxydation — es geschah dies durch Sauerstoffatmung resp. Injektion von 0,5 proz. Natrium carbonicum-Lösung — die Gefahr der Sulfitvergiftung zu vermindern suchten, ein Schlufs noch nicht gezogen werden; immerhin dürfte ein gewisser Einflufs in dem gedachten Sinne zu bemerken sein. Damit ist jedoch keineswegs gesagt, dafs nicht doch ein Freiwerden der SO_2 in den Geweben stattfinden kann, da vielleicht die gewählten Versuchsanordnungen hier für den erstrebten Zweck nicht genügend günstige Bedingungen herstellten. Jedenfalls ist eine Herabsetzung der Wirkung durch das kohlensaure Natron zu konstatieren, da bei der eben tödlichen Dosis in Versuch 10 weder der Tod noch überhaupt krankhafte Symptome auftreten, und ebenso bei Versuch 1 eine ausgesprochene Verzögerung des Verlaufes hervortritt, die allerdings bei der über der eben tödlichen liegenden Gabe von 70 mg p. k. in Versuch 13 fehlt. Es wären deshalb erneute Versuche in dieser Richtung für die weitere Aufklärung der Frage gewifs noch sehr erwünscht, da die Möglichkeit, dafs unter günstigen Umständen auch nach der Resorption im Organismus SO_2 frei werden kann, doch auch jetzt nicht von der Hand zu weisen ist.

Stellen wir noch einmal kurz das zusammen, was sich nach dem bisher Dargelegten hinsichtlich der Wirkung der SO_2-Salze ergibt, so können wir sagen: Die Wirkung der SO_2-Salze ist — abgesehen von der allen Salzen zukommenden osmotischen Wirkung konzentrierter Lösungen — eine zweifache. Zunächst kommt ihnen eine allgemeine spezifische Giftwirkung als zentral lähmendes Gift nach der Resorption zu, die

wir als bedingt durch die, bei der Dissoziation entstandenen SO_2-Ionen anzusehen haben. Eine hygienische Bedeutung kommt dieser Ionenwirkung jedoch bei den in Nahrungsmitteln im allgemeinen in Frage kommenden kleinen Mengen nicht zu, da die zur Hervorrufung einer solchen Wirkung nötigen, grofsen Sulfitmengen, welche im Blute kreisen müssen, infolge der leichten Oxydierbarkeit der SO_2-Salze und bei der relativ langsamen Resorption derselben vom Magendarmkanal aus sich im Blute bei Zufuhr geringerer Mengen per os nicht anhäufen können. Neben dieser Allgemeinwirkung der SO_2-Ionen kommen dann aber auch noch in Betracht die lokalen Reizwirkungen, welche die aus den Salzen unter Einwirkung anderer Säuren — speziell der Magensalzsäure — abgespaltene freie SO_2 hervorzurufen vermag. Da die Möglichkeit zum Freiwerden der SO_2 zum mindesten im Verdauungstraktus in Magen und Dickdarm stets gegeben sein kann, so sind deshalb mit Rücksicht auf die Seite ihres Wirksamwerdens die SO_2-Salze hygienisch qualitativ ebenso zu beurteilen wie die freie SO_2, quantitativ aber wird die Stärke der Wirkung ganz von den jeweiligen Bedingungen für das Freiwerden von SO_2 abhängen.

III. Wirkung der organischen SO_2-Verbindungen.

Nachdem wir im Vorstehenden die Wirkungen der freien SO_2 sowie der anorganischen SO_2-Salze kennen gelernt haben, wollen wir uns nun der Besprechung der organischen SO_2-Verbindungen zuwenden.

Wie wir aus zahlreichen neueren, oben zitierten Untersuchungen wissen, findet sich in Nahrungsmitteln die SO_2 vielfach in organischer Bindung. Als solche organische Verbindung kommt für Fruchtkonserven und Most hauptsächlich Glukose-SO_2 (nach Schmidt), für Wein Azetaldehyd-SO_2 (nach Schmitt, Ripper und Kerp) in Betracht.

Wie verhalten sich nun diese Verbindungen bezüglich ihrer Wirkung?

Nachdem Kerp durch seine mehrfach erwähnten Versuche festgestellt hat, dafs ebenso wie die anorganischen auch die organischen Verbindungen der SO_2 dissoziationsfähig sind, war von vornherein anzunehmen, dafs ihnen auch, entsprechend dem Grade ihrer Dissoziationsfähigkeit, die Wirkungen der SO_2-Ionen zukommen. Rost und Franz[1]) haben durch Versuche diese Ansicht vollkommen bestätigt. Wie erinnerlich, betrug für das Kaninchen, per os gegeben, die tödliche Dosis beim Natriumsulfit in 10proz. Lösung 0,65 g SO_2 pro kg. Beim glukoseschwefligsauren Natrium war die tödliche Dosis kleiner (0,49 g SO_2 pro kg); dagegen war sie, entsprechend der schwereren und unvollkommeneren Dissoziierbarkeit des azetaldehydschwefligsauren Natriums, bei diesem gröfser (1,22 g SO_2 pro kg). Die Vergiftungssymptome waren in allen drei Fällen die gleichen; ein weiterer Beweis dafür, dafs es sich in der Tat auch hier nur um die gleiche Wirkung der durch Dissoziation entstandenen SO_2-Ionen handelt.

Wenn nun auch diese ionale SO_2-Wirkung bei der Glukoseverbindung eine etwas stärkere ist als bei den anorganischen Salzen, so sind doch auch hier zum Zustandekommen der Giftwirkung so erhebliche Mengen der betreffenden Verbindungen nötig, dafs man ohne weiteres auch für die organischen SO_2-Verbindungen sagen kann: Bezüglich der Allgemeinwirkung ihrer SO_2-Ionen sind die in Nahrungsmitteln vorkommenden Mengen, ebenso wie bei den anorganischen SO_2 Salzen als durchaus unbedenklich für die Gesundheit anzusehen.

Dagegen haben wir auch hier die Frage zu erörtern, ob und in welchem Mafse eventuell die aus den organischen SO_2-Verbindungen unter der Einwirkung anderer Säuren freiwerdende SO_2 mit ihren nachteiligen Wirkungen in Frage kommt. Um dies festzustellen, haben wir ganz analog den mit anorganischen Salzen ausgeführten Destillationsversuchen auch hier solche angestellt unter gleichzeitiger Einwirkung 0,3 proz. Salzsäure bei Körpertemperatur. Die zu diesen

1) Siehe oben.

Versuchen benutzten Verbindungen — glukoseschwefligsaures und azetaldehydschwefligsaures Natrium — waren uns freundlichst vom Kaiserlichen Gesundheitsamte zur Verfügung gestellt, wofür wir auch hier noch unsern Dank aussprechen möchten.

Dafs zunächst aus der Glukoseverbindung die 0,3 proz. Salzsäure die gesamte SO_2 freizumachen imstande ist, zeigen die Versuche Nr. 5 und 6 der Tabelle V (der geringe Verlust an SO_2 bei Nr. 6 erklärt sich wiederum aus dem Wechseln der Vorlage während der Hauptperiode des Versuchs), und zwar geht dieses Freiwerden der SO_2 mindestens ebenso schnell vor sich wie bei der Natriumsulfitlösung.

Eine Fruchtkonserve, welche mit Rücksicht auf ihren hohen Gehalt an SO_2-Verbindungen neuerdings auch durch vielfache gerichtliche Erörterungen ein besonderes Interesse gewonnen hat, sind die amerikanischen getrockneten Aprikosen. In ihnen soll nach Schmidt die SO_2 sich vor allem an Glukose gebunden finden, und es mufste deshalb von Interesse sein, zu sehen, ob auch bei einem solchen Nahrungsmittel die Verhältnisse sich ebenso gestalten wie bei der einfachen Lösung der Glukose SO_2. Wir dehnten deshalb die Destillationsversuche auch noch auf getrocknete Aprikosen aus (cf. Tabelle V Nr. 7—10). Zunächst unterwarfen wir gröber zerkleinerte Früchte mit 0,2 proz. Salzsäure bei Körpertemperatur der Destillation. Hierbei sind die Verhältnisse für ein Freiwerden der SO_2 natürlich nicht sonderlich günstig. Die Zellen der Früchte bleiben intakt und bieten so der Salzsäure nur recht mangelhafte Gelegenheit zum Eindringen. Dementsprechend konnten wir auf diese Weise auch nur 6,9% der SO_2 (Nr. 8) aus den so behandelten Früchten freimachen. Dafs für diesen geringen Erfolg tatsächlich in erster Linie diese äufseren ungünstigen Verhältnisse verantwortlich zu machen sind, zeigt sich daraus, dafs wir erheblich bessere Resultate erzielten, als wir diese Verhältnisse günstiger gestalteten. Dies suchten wir zunächst dadurch zu erreichen, dafs wir nicht die Früchte selbst, sondern einen wässerigen Auszug aus den Früchten benutzten, der in folgender Weise gewonnen war: Die fein zerkleinerten Früchte wurden zunächst unter häu-

figem Schütteln mit ausgekochtem Wasser in Wasserstoffatmosphäre 24 Stunden lang ausgezogen und alsdann in geschlossenen Gläsern zentrifugiert. Die dabei erhaltene Flüssigkeit wurde zu dem Destillationsversuche benutzt, und wir konnten aus ihr (cf. Tabelle V, Nr. 7) ca. 24,6% der vorhandenen SO_2 durch 0,3 proz. Salzsäure freimachen. Noch bessere Resultate erzielten wir, wenn wir die Früchte selbst zur Destillation benutzten, dann aber durch verstärkten Wasserstoffstrom und durch Vakuum für eine Bewegung des Materials im Kolben Sorge trugen und das Entweichen der freigewordenen SO_2 begünstigten. Wurde in dieser Weise, wobei die Früchte zu einem ziemlich gleichmäfsigen Brei zerkleinert wurden, die Destillation ausgeführt, so gelang es uns, bis nahe an 32% der vorhandenen SO_2 frei zu machen (cf. Tabelle V Nr. 9 u. 10).

Wenn auch in den betonten mechanischen Verhältnissen in erster Linie der Grund dafür liegen kann, dafs es uns nicht gelungen ist, die gesamte SO_2 wie bei der Glukose-SO_2 freizumachen, so weist das Ergebnis unserer Versuche doch vielleicht auch darauf hin, dafs in den Früchten noch andere SO_2-Verbindungen in Frage kommen, z. B. mit kolloiden Substanzen, die sich bezüglich ihrer Dissoziierbarkeit ähnlich wie die Azetaldehyd-SO_2 verhalten können.

Aber dafs auch in den Früchten, mag die Bindung der SO_2 nun sein welche sie wolle, noch ein so grofser Teil der SO_2 frei zu machen ist, ist das für die gesundheitliche Beurteilung Wesentliche. Die von uns gefundenen Werte sind jedenfalls als minimale Werte aufzufassen, da bei der Verdauung durch wirkliches Aufschliefsen der Zellen eventuell auch durch Invertierung nur noch weit günstigere Bedingungen für das Freiwerden der SO_2 entstehen können.

Wenn man annimmt, dafs im Magen bei diesen erheblich besseren Bedingungen für das Freiwerden auch nur 50% der SO_2 aus den Früchten in Freiheit gesetzt werden können, so wird doch ohne weiteres klar, dafs der zurzeit gestattete SO_2-Gehalt in Früchten von 125 mg auf 100 g ganz erheblich über das Mafs

dessen hinausgeht, was man als unwirksam bezeichnen mufs. Wie wir sehen, vermögen bereits 10 mg freie SO_2 nachweisbare Störungen des Befindens am Gesunden hervorzurufen, und um solche sicher zu vermeiden, müfste man, wie man das in sonstigen praktischen Fällen, wo es sich um öffentliche Sicherheit handelt, doch auch hier um mindestens 100%, d. h. also auf 5 mg % im SO_2-Gehalte heruntergehen. Es sollten also, angenommen, dafs nur 50% der enthaltenen SO_2 wirklich frei werden können, Früchte auf keinen Fall mehr als 10 mg % SO_2 enthalten.

Es mufs ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dafs durch die Festsetzung eines solchen als Grenze zulässigen Maximalwertes das seit Jahrhunderten im Haushalte übliche Schwefeln der Einmachgläser in keiner Weise berührt werden würde; denn die beim blofsen Schwefeln der Gläser in den Inhalt übergehenden SO_2-Mengen sind so gering, dafs sie noch unter der genannten Grenze liegen. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man, wie wir es taten, ein Glas von ca. 1 l Inhalt für einige Zeit über brennenden Schwefel hält, wie das beim Schwefeln im Haushalte üblich ist, sodann ohne irgendwelche Vorsichtsmafsregeln es mit Wasser füllt, schliefst, umschüttelt und im Inhalte dann die SO_2 bestimmt. Wir haben drei derartige Versuche angestellt und als SO_2-Gehalt des Inhaltes ergab sich einmal 5,2, ein zweites Mal 5,4, und das dritte Mal 6,0 mg SO_2 auf 100 ccm.

Es wird also durch das Verlangen nach Herabsetzung des erlaubten SO_2-Gehaltes in Fruchtkonserven auf 10 mg % keineswegs das im Haushalte übliche Schwefeln der Einmachgläser berührt, sondern es würde lediglich die zurzeit übliche Imprägnierung der Früchte mit SO_2 verhindert werden.

Etwas anders liegen die Verhältnisse beim Wein. Hier findet sich die SO_2, soweit möglich, an Azetaldehyd gebunden, und wir sahen bereits, dafs diese Verbindung der SO_2 mit Azetaldehyd bezüglich ihrer Dissoziationsfähigkeit weit hinter dem bisher besprochenen zurücksteht, so dafs die von ihr ausgehenden ionalen SO_2-Wirkungen erheblich schwächere sind.

Wie verhält sich nun die azetaldehydschweflige Säure bezüglich des Abspaltens von freier SO_2? Kann 0,3 proz. Salzsäure auch hier die gesamte SO_2 frei machen? Der von uns ausgeführte und unter Nr. 11 in der Tabelle V widergegebene Versuch zeigt, dafs das nicht der Fall ist. Im Gegensatz zu allen bisher besprochenen SO_2-Verbindungen vermag hier auch unter den günstigsten Bedingungen (Vakuum 38° C) die Salzsäure nur ca. 15% der SO_2 frei zu machen. Damit ist ohne weiteres klar, dafs auch die auf Freiwerden von SO_2 zurückzuführenden Wirkungen der azetaldehydschwefligen Säure nicht gleich energisch sein können wie bei anderen leicht dissoziierenden SO_2-Verbindungen.

Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse wäre beim Wein wohl ein mäfsiger SO_2-Gehalt als weniger bedenklich anzusehen, und das seit Jahrhunderten übliche Schwefeln der Weinfässer gibt, wenn vorsichtig ausgeführt, auch zu keinerlei Bedenken Anlafs. Die hierbei in den Wein gelangenden Mengen SO_2 sind so gering, dafs sie bei der relativen Unschädlichkeit der azetaldehydschwefligen Säure unbedenklich erscheinen. Die vielfach im Weine gefundenen grofsen Mengen SO_2 lassen jedoch darauf schliefsen, dafs die Schwefelung oft eine sehr intensive ist und eine systematische Imprägnierung des Weines mit SO_2 stattfindet. Eine solche aber, und insbesondere die von Grünhut[1]) bekämpfte wiederholte Schwefelung von zum Ausschank stehenden Weinen ist durchaus nicht mehr als harmlos anzusehen. Denn einmal wird bei sehr hohem Gehalt an SO_2 dieselbe auch im Weine zu einer gesundheitlichen Gefahr trotz der Festigkeit der hier in Frage kommenden SO_2-Verbindung, da sie ja nicht ganz undissoziierbar ist und dementsprechend zur Bildung freier SO_2 führen kann, und sodann ist auch Rücksicht darauf zu nehmen, dafs nach völliger Inanspruchnahme des Azetaldehyds die SO_2 sich an andere im Wein vorhandene organische Stoffe — z. B. Glukose — anlagern mufs und damit natürlich die SO_2-Gefahr im Weine entsprechend erhöht wird.

1) Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genufsmittel, 1903, Heft 20, S. 927.

Die Wirkung des Kondenswassers aus menschlicher Atemluft und aus Verbrennungsgasen einiger Leuchtmaterialien auf das isolierte Froschherz.

Von

Dr. med. **F. Peters,**
früherem Assistenten am hygienischen Institut

(Aus dem Hygienischen Institut der Universität Berlin. Direktor: Geh. Medizinalrat Prof. Dr. M. Rubner.)

Die Luftanalyse ist gerade in der den Hygieniker interessierenden Richtung der Auffindung kleinster Verunreinigungen durch organische Stoffe noch wenig ausgebildet und sozusagen in den Anfängen. Erst in neuerer Zeit hat man sich mit der Prüfung der atmosphärischen Luft auf flüchtige organische Körper näher beschäftigt und es ist auch gelungen, bestimmte Mengen solcher Verbindungen aufzufinden, namentlich wären in dieser Hinsicht die Untersuchungen von Gréhant und Wolpert zu nennen. Wie im Freien, so stöfst man selbstverständlich auch in der Stubenluft auf derartige Körper, die Verbrennungsgase des Beleuchtungsmaterials können sogar ziemlich reich teils an anorganischen fremden Stoffen sein, wie auch solche organischer Natur führen.

Bei sorgfältigem Arbeiten hat man keine Schwierigkeiten, diese Tatsachen festzustellen, anders liegt es mit der näheren Definierung solcher Verbindungen; hier versagen sehr häufig noch die Methoden. Es steht aber zu hoffen, man werde allmählich die Hindernisse beseitigen.

Besonders lebhaft hat man sich stets mit der Frage beschäftigt, ob und in welchem Umfange etwa die Ausatemluft des Menschen und der Tiere »giftige« Stoffe mit sich führen. Diese recht umfangreiche Literatur, die sich bei Formanek (Arch. f. Hyg. Bd. 38) zusammengestellt findet, zu behandeln, liegt kein Anlafs vor. Dieselbe möchte ich nur ergänzen durch Anführung einer vorläufigen Mitteilung von Jackson[1]), welcher in der Ausatmungsluft Kohlenoxyd nachgewiesen hat und zwar in Mengen, die nach seiner Ansicht den schädlichen Einflufs der Exspirationsluft erklären; genauere Angaben fehlen.

Wurtz[2]) ist es ja auch gelungen, eine flüchtige Base zu isolieren; leider war die gewonnene Menge zu gering, um eine genauere Analyse auszuführen. Diese Angaben bedürfen noch einer weiteren exakten Nachprüfung, denn Lehmann und Jessen[3]), welche dieselben vor längerer Zeit unternommen haben, haben die Bedingungen der Wurtzschen Vorschrift nicht genau erfüllen können.

Zweifellos wird es uns heute nicht mehr wundernehmen, wenn man in der Atemluft wirklich organische flüchtige Verbindungen findet, da sie ja in der freien Atmosphäre und in der Stubenluft ohnedies enthalten sind und bei entsprechender Methodik gefunden werden können. Ob aber besonders eigenartige Körper zu finden sind, das ist eigentlich die zu lösende Aufgabe.

Bei dem immerhin noch recht schwierigen Stande, den die Luftanalyse zu überwinden hat, handelt es sich vor allem um eine Verbesserung der Untersuchungsmethodik und um Heranziehung weiterer Hilfsmittel.

Wir besitzen in der pharmakologischen Technik ein Mittel, welches aufserordentlich fein auf viele organische und anorganische Verbindungen reagiert, das Froschherz.

---

1) Jackson, Proceed. of the Physiol. Soc., 1887, in Journ. of Physiol., 1888, vol. IX.

2) Wurtz, R., Compt. rend., 1888, t. 106, p. 213.

3) Lehmann, K. B. und Jessen, F., Archiv f. Hygiene, 1890, Bd. X.

Herr Geheimrat Rubner forderte mich deshalb auf, den Einfluſs des Kondenswassers des menschlichen Atems auf das isolierte Herz zu untersuchen. Wie empfindlich dasselbe eventuell sein kann, wissen wir aus den Untersuchungen von Harnack und Hafemann[1]), welche mit Hilfe desselben noch 0,02 mg Atropin in 50 ccm Nährflüssigkeit nachweisen konnten. Anderseits braucht das Froschherz nicht zu reagieren auf jeden Stoff, der für den Menschen ein Gift ist, wie es z. B. für das Kohlenoxyd bekannt ist (u. a. Divine[2]). Es würde also ein negativer Ausfall unserer Experimente noch nicht gegen die Giftigkeit der Ausatmungsluft sprechen.

Das Kondenswasser schafften wir uns in der Weise, daſs wir die atmenden Personen in eine 12 l-Flasche ausatmen lieſsen, welche in einer aus Eis und Kochsalz hergestellten Kältemischung stand. Die Flasche war mit einem doppelt durchbohrten Korkstopfen verschlossen; durch die eine Öffnung ging ein engeres Glasrohr für die entweichende Luft, durch die andere ein weites entsprechend gebogenes Glasrohr, an welches sich direkt ein kurzes T-Rohr anschloſs. Dieses diente als Mundstück. Wir wählten ein T-Rohr, weil es so sehr leicht gelang, eine Verunreinigung des Kondenswassers durch Speichel zu verhindern, denn der eventuell abflieſsende Speichel muſste sich in dem nach unten gerichteten Zweigstück des T-Rohres ansammeln. Die Anwendung eines solchen bringt dadurch den weiteren Vorteil, daſs der Weg bis zur Kondensierung auf eine möglichst kurze Strecke beschränkt wird und alle Vorkehrungen, vorherige Kondensationen zu verhindern, vermieden werden. Um dem Einwurfe, das Kondenswasser könnte durch Stoffe verunreinigt sein, die nicht aus der Exspirationsluft herrühren, zu begegnen, wurden zunächst die Versuchspersonen (Assistenten und Diener des Institutes) in geeigneter Weise ausgewählt. Nur solche wurden benutzt, die gesund waren, nicht an katarrhalischen Zuständen der Luft- und Speisewege litten und gute Zähne besaſsen. Vor jedem Versuche

1) Harnack und Hafemann, Archiv f. exp. Path. u. Pharmak., 1883, Bd. 17.

2) Divine, J., Zeitschr. f. Biol., 1905, Bd. 47 (29).

mufsten sie den Mund gehörig ausspülen, gegebenenfalls auch zunächst die Zähne putzen, mit Permanganatlösung und dann mit reichlich warmem Wasser die Mundhöhle reinigen. Zudem wurde acht gegeben, dafs die Versuchspersonen nicht kurz vor dem Versuche geraucht oder Alkoholica getrunken hatten. Damit fernerhin eine Einwirkung der warmen mit Wasserdampf gesättigten Ausatmungsluft auf die Glasröhren nicht in Betracht kommen konnte, wurden dieselben aus bestem Jenaer Glas hergestellt. Dasselbe gibt, bezogen auf 100 qcm Oberfläche, bei 8 tägiger Einwirkung von Wasser von 20° an dieses Alkali ab, entsprechend 0,003 mg Na_2O; bezüglich der Angreifbarkeit durch Säuren wurden für Normalschwefelsäure Werte erhalten, die sich schon den Beobachtungsfehlern nähern. (Physikalisch-technische Reichsanstalt.) Die gewonnenen Mengen Kondenswasser betrugen pro Kopf und Stunde etwa 10—15 ccm. Dasselbe war klar, geruchlos und reagierte auf Lackmuspapier neutral, gegen Phenolphthalein minimal sauer: so verbrauchten z. B. 48 ccm Kondenswasser bei Phenolphthaleinzusatz 0,45 ccm $Ba(OH)_2$-Lösung; da 1 ccm dieses Barytwassers entsprach 1,27 mg CO_2, so enthielten 100 ccm des untersuchten Kondenzwassers 1,2 mg CO_2. Das stimmt auch mit der theoretischen Erwägung, denn beim Gefrieren des kondensierten Wassers mufs die Kohlensäure entweichen.

In den Versuchen, welche im Spätherbst 1904 und im Frühjahre 1905 angestellt wurden, wurden stets kräftige, frisch aus Strafsburg bezogene Frösche benutzt, die nicht lange in der Gefangenschaft gehalten waren, und zwar meistens Ran. escul., selten Ran. tempor. Weiterhin wurden zum Versuche nur die freigelegten Herzen verwandt, die in situ eine kräftige Aktion zeigten, bei denen die Einführung der Kanüle ohne jedes Hindernis und ohne jeden Widerstand gelang, und die, dann am Apparat befestigt, kräftig und regelmäfsig weiter pulsierten.

Als Apparat benutzt wurde ein Williamsches Herzmanometer mit zwei Reservoiren, die abwechselnd durch Drehung eines Zweighahnes in Verbindung gesetzt werden konnten mit dem venösen Ventil. Die Anordnung war bei allen Versuchen die gleiche und zwar so, dafs der venöse Druck einer Belastung

mit einer Flüssigkeitssäule von 20 cm entsprach, in welcher Höhe sich das Niveau des Zuflufsgefäfses über dem Herzen befand; die Ausflufsöffnung oder vielmehr der höchste Punkt des gebogenen Glasröhrchens, aus welchem die Lösung wieder in das Reservoir abtropfte, stand 27 cm über dem Herzen, welches also bei seiner Kontraktion eine Überlastung von 7 cm zu überwinden hatte.

In das eine Reservoir kam die Normallösung, in das andere die zu untersuchende Flüssigkeit. Als Normallösung benutzten wir in einigen Versuchen eine Mischung von gleichen Teilen defibrinierten Kaninchenblutes und einer 0,6 proz. Na Cl-Lösung; die Normallösung bereiteten wir daraus, indem wir zu einem abgemessenen Quantum der Mischung das halbe Volumen der 0,6 proz. Na Cl-Lösung hinzusetzten; so erhielten wir die bekannte Nährflüssigkeit, welche aus 1 Teil defibrinierten Kaninchenblutes und 2 Teilen 0,6 proz. Na Cl-Lösung besteht. In den meisten Fällen aber speisten wir das Herz mit Ringerscher Lösung, d. i. 100 ccm 0,6 proz. Na Cl-Lösung + 5 ccm 0,5 proz. Na H CO_3-Lösung + 5 ccm 0,25 proz. Ca Cl_2-Lösung + 1 ccm 1 proz. K Cl-Lösung. Sowohl die Blutverdünnung wie die Ringersche Lösung sind erfahrungsgemäfs vorzüglich geeignet, das isolierte Froschherz für längere Zeit in ungeschwächter Aktion zu erhalten. Das Herz, welches sich in einem Bade von Ringerlösung befand, wurde beobachtet, indem die Anzahl der Ventrikelsystolen (Vs) in 30 Sekunden und in der gleichen Zeit die Tropfenzahl gezählt wurde.

Das Kondenswasser wurde noch in verschiedener Weise zur Untersuchung benutzt. Da die Beschaffung desselben immerhin Schwierigkeiten macht, mufste mit demselben sehr sparsam umgegangen werden. Es wurde daher zunächst durch Zusatz weniger Kubikzentimeter desselben zu normaler Ringerlösung die zu untersuchende Flüssigkeit hergestellt; dieselbe zeigte keine Wirkung. Darauf wurden gröfsere Mengen verwandt und zwar zunächst zur Bereitung einer Blutmischung als Untersuchungsflüssigkeit. Während die Normalmischung aus 20 ccm der oben genannten Blutverdünnung + 10 ccm 0,6 proz. Na Cl-Lösung bestand, wurde die zu untersuchende Flüssigkeit hergestellt aus 20 ccm der Blutver-

dünnung + 10 ccm Kondenswasser, welchen 0,6 g Na Cl zugesetzt war.

Ein solcher Versuch verlief folgendermafsen:

Herz von Ran. escul. ♀

6 Uhr 45 Min.	am Williamschen Apparat, gespeist mit Ringerscher Flüssigkeit.			
6 » 55 »	20 ccm Blutmischung + 10 ccm 0,6 proz. Na Cl-Lösung.			
7 »	27—27 Vs.	29 Tropfen		
7 » 30 »	22—22 »	36 »		
7 » 40 »	24—23 »	35 »		
7 » 45 »	23—24 »	37 »		
7 » 60 »	24—23 »	36 »		
7 » 55 »	23—24 »	37 »		
8 »	20 ccm Blutmischung + [10 ccm Kondenswasser + 0,06 g Na Cl].			
8 » 5 »	25 Vs.	37 Tropfen		
8 » 10 »	24—23 »	35 »		
8 » 15 »	25—24 »	34 »		
8 » 20 »	24—24 »	36 »		
8 » 25 »	25—24 »	36 »		
8 » 30 »	25—25 »	38 »		
8 » 35 »	25—25 »	35 »		
8 » 40 »	26—26 »	36 »		
8 » 45 »	26—26 »	34 »		
8 » 50 »	26—26 »	31 »		
8 » 55 »	27—26 »	31 »		
9 »	26—26 »	30 »		
9 » 10 »	27—27 »	27 »		
9 » 15 »	27—26 »	26 »		

Wie man sieht, hat der Zusatz von 10 ccm Kondenswasser gar keine Wirkung, denn die geringe Abnahme der Tropfenzahl ist wohl nicht darauf zurückzuführen, wenn man bedenkt, dafs das Herz, soweit es hier aufgeführt ist, $2^1/_2$ Stunden am Apparat arbeitete. Versuche mit Zusatz von Kondenswasser zu der Blutmischung wurden nur wenige ausgeführt, da sie alle negativ ausfielen und bei Anwendung derselben ja stets eine beträchtliche Verdünnung des Kondenswassers mit in den Kauf genommen werden mufste. Wir aber mufsten bestrebt sein, eine höhere Konzentration des Kondenswassers in der Untersuchungsflüssig-

keit zu erreichen, um, wenn überhaupt möglich, Ausschläge zu sehen. Zunächst untersuchten wir noch Verdünnungen; diese wurden in der Weise hergestellt, dafs die angegebene Menge Kondenswasser mit destilliertem Wasser auf 50 ccm aufgefüllt wurde, 0,3 g Na Cl darin gelöst und 2,5 ccm 0,5 proz. $NaHCO_3$-Lösung, 2,5 ccm 0,25 proz. $CaCl_2$-Lösung und 0,5 ccm 1 proz. K Cl-Lösung hinzugesetzt wurde.

Von den angestellten Versuchen seien hier zwei mitgeteilt:

Herz einer Ran. escul. ♂

6 Uhr 15 Min. am Williamschen Apparat, gespeist mit Ringerlösung (A).
6 » 25 » 19 Vs. — 28 Tropfen
6 » 30 » 20 » — 28 »
6 » 33 » 20 » — 26 »
6 » 34 » 33 ccm Kondenswasser, zubereitet als 50 ccm Ringerlösung (U).
6 » 35 » 20 Vs. — 25 Tropfen
6 » 37 » 19 » — 29 »
6 » 40 » 18 » — 26 »
6 » 42 » 17 » — 28 »
6 » 45 » 18 » — 27 »
6 » 50 » 17 » — 25 »
6 » 55 » 17 » — 26 »
7 » 17 » — 25 »
7 » 5 » 16 » — 24 »
7 » 10 » 16 » — 22 »
7 » 18 » 13 » — 21 » Pause zwischen Diastole und nächster Systole.
7 » 25 » 14 Vs. — 19 Tropfen
7 » 30 » 13 » — 20 » darauf mit alter Ringerlösung (A) wieder gespeist.
7 » 35 » 14 Vs. — 20 Tropfen
7 » 40 » 15 » — 20 » nun frische Ringerlösung.
7 » 45 » 15 Vs. — 21 Tropfen
7 » 50 » 15 » — 21 »
8 » 15 » — 20 »
8 » 10 » 16 » — 17 »
8 » 20 » 15 » — 18 »

Herz einer Ran. escul. ♀

8 Uhr 5 Min. am Williamschen Apparat, gespeist mit Ringerscher Lösung (A).
8 » 20 » 21 Vs. — 22 Tropfen
8 » 25 » 22 » — 23 »
8 » 30 » 21 » — 25 »
8 » 34 » 45 ccm Kondenswasser, zubereitet als 50 ccm Ringerlösung (U).
8 » 35 » 22 Vs. — 27 Tropfen
8 » 37 » 18 » — 31 » einzelne, sehr weite Diastolen.
8 » 40 » 16 Vs. — 30 Tropfen
8 » 43 » 19 » — 29 »
8 » 45 » 19 » — 29 »
8 » 50 » 17 » — 28 »
8 » 52 » 18 » — 29 »
8 » 55 » 18 » — 27 »
8 » 57 » 18 » — 25 »
9 » 17 » — 26 »
9 » 3 » 18 » — 28 »
9 » 5 » 18 » — 28 » Systolen aus weiter diastolischer Stellung.
9 » 10 » 17 Vs. — 26 Tropfen
9 » 15 » 13 » — 24 »
9 » 17 » 18 » — 28 »
9 » 20 » 14 » — 15 » Pausen in diastolischer Stellung.
9 » 22 » 14 Vs. — 20 Tropfen
9 » 25 » 17 » — 13 »
9 » 28 » 15 » — 7 »
9 » 30 » 14 » — 3 » frische Ringersche Lösung, nachdem damit durchgespült.
9 » 35 » 18 Vs. — 35 Tropfen
9 » 40 » 17 » — 17 »
9 » 45 » 14 » — 14 »
9 » 50 » 13 » — 17 »

Wodurch in dem letzten Versuch das anfängliche Ansteigen der geförderten Flüssigkeitsmenge hervorgerufen ist, läfst sich nicht mit Sicherheit erkennen; möglich wäre, dafs bei der geringen Frequenzabnahme das Herz sich besser gefüllt hat und daher, so lange es ungeschwächt war, auch mehr ausgeworfen hat. Jedenfalls aber zeigt die Gegenüberstellung der beiden Versuche, dafs in demjenigen, wo die Konzentration des Kondenswassers

in der Untersuchungsflüssigkeit eine gröfsere ist, sich nach Verlauf einer Stunde nach voraufgehender Unregelmäfsigkeit der Herzaktion eine beträchtliche Herabsetzung ihrer Kraft sich eingestellt hat, was bei dem verdünnteren Kondenswasser im Parallelversuch nicht der Fall ist. Dies mufste uns veranlassen, Kondenswasser in gröfseren Mengen herzustellen und dasselbe, nachdem es die von Ringer angegebenen Zusätze erhalten hatte, auf das isolierte Herz wirken zu lassen. Einer von den Versuchen gab folgendes Resultat:

Herz von Ran. escul. ♀

Zeit	Befund	Bemerkung
7 Uhr 25 Min.	am Williamschen Apparat, gespeist mit 80 ccm Ringerscher Lösung (A).	
7 » 35 »	30 Vs. — 38 Tropfen	
7 » 40 »	28 » — 38 »	
7 » 45 »	28 » — 39 »	
7 » 50 »	28 » — 38 »	80 ccm Kondenswasser, zubereitet als 80 ccm Ringerlös. (U).
7 » 52 »	26 Vs. — 35 Tropfen	
7 » 55 »	26 » — 33 »	
7 » 58 »	26 » — 34 »	
8 »	26 » — 33 »	
8 » 5 »	26 » — 31 »	
8 » 10 »	26 » — 30 »	
8 » 15 »	25 » — 27 »	
8 » 20 »	25 » — 27 »	peristaltische Herztätigkeit.
8 » 25 »	24 Vs. — 25 Tropfen	
8 » 30 »	25 » — 23 »	
8 » 35 »	23 » — 18 »	
8 » 40 »	20 » — 13 »	
8 » 45 »	19 » — 9 »	diastolischer Charakter nimmt immer mehr zu.
8 » 50 »	18 Vs. — 4 Tropfen	
8 » 55 »	17 » — — »	die gezählten Systolen sind kaum sichtbare Zuckungen.
8 » 57 »	Durchspülen mit der Ringerlösung (A); sobald der ganze venöse Druck auf dem Herzen ruht, treten sichtbare Kontraktionen ein, sobald aber eine geringe Überlastung geschaffen wird, steht das Herz still. Auch frische Ringerlösung bringt keine Erholung.	

Ein gleiches Resultat gaben fünf Versuche, welche mit unverdünntem Kondenswasser angestellt waren. Bei allen nahm allmählich die Herzaktion einen diastolischen Charakter

an, es traten peristaltische Kontraktionen auf, und vor allem nahm nicht so sehr die Frequenz, als vielmehr die vom Herzen geförderte Menge von Speiseflüssigkeit ganz bedeutend ab. Diese Symptome traten um so schneller ein und in um so weiterem Umfange, je weniger verdünnt das Kondenswasser war. Wir begnügten uns aber nicht damit, allein daraus, dafs bei Durchleitung gröfserer Mengen auch die Erscheinungen zunehmen, unsere Schlüsse zu ziehen, sondern die aus der Erfahrung mit gröfster Wahrscheinlichkeit sich ergebende Tatsache, dafs zu der gleichen Zeit eine normale Ringerlösung die Herztätigkeit noch fast unverändert fortbestehen liefs, suchten wir in jedem Falle durch einen Kontrollversuch zu erhärten. Solche mufsten wir schon aus dem weiteren Grunde anstellen, um dem Einwurfe entgegenzutreten, die gröfseren Flüssigkeitsmengen hätten eine schlechtere Durchlüftung der Nährflüssigkeit zur Folge gehabt und aus dem Grunde vielleicht Schädigung hervorgerufen. Dafs nämlich, je häufiger die ganze Flüssigkeitsmenge durch den Apparat getrieben wird, eine um so bessere Durchlüftung stattfindet, prüften wir in einem orientierenden Versuch, in dem wir durch Druck auf einen an Stelle des Herzens angebrachten — abgeschlossenen — Gummischlauch Pulsationen und somit Abtropfen der Flüssigkeit in das Reservoir erzeugten und gleichzeitig die enthaltene Kohlensäure bestimmten. So fanden wir, dafs eine noch nicht durchgetriebene Flüssigkeit in 100 ccm 1,7 mg CO_2 enthielt, sobald sie einmal durchgetropft war 1,2 mg, und wenn dies zweimal geschehen war, 0,9 mg: es ist also eine allmähliche Abnahme zu konstatieren.

Im folgenden sei noch ein Versuch mitgeteilt und der dazu gehörige Kontrollversuch:

Herz von Ran. escul. ♂

7 Uhr 20 Min. am Williamschen Apparat, gespeist mit 100 ccm Ringerlösung.

7	»	35	»	26 Vs.	— 41	Tropfen
7	»	40	»	25 »	— 43	»
7	»	45	»	23 »	— 46	»
7	»	50	»	24 »	— 48	»
7	»	55	»	24 »	— 48	»

Zeit					Befund
7	Uhr	56	Min.		100 ccm Kondenswasser als Ringerlösung präpariert.
7	»	59	»	22 Vs. — 41 Tropfen	
8	»	3	»	20 » — 35 »	
8	»	5	»	18 » — 29 »	
8	»	10	»	22 » — 34 »	
8	»	15	»	21 » — 26 »	
8	»	20	»	20 » — 20 »	diastol. Charakter.
8	»	25	»	19 Vs. — 19 Tropfen	
8	»	30	»	19 » — 15 »	
8	»	35	»	18 » — 12 »	ausgesprochen diastolischer Charakter, leichte Peristaltik.
8	»	40	»	17 Vs. — 9 Tropfen	
8	»	45	»	17 » — 5 »	pralle Diastole. Zuckende Systolen.
8	»	50	»		Auswaschen mit frischer Ringerlösung bringt keine Erholung.

Der Kontrollversuch verlief folgendermaſsen:

Herz von Ran. escul. ♀

Zeit					Befund
6	Uhr	20	Min.		am Williamschen Apparat, 100 ccm Ringersche Lösung.
6	»	35	»	26 Vs. — 37 Tropfen	
6	»	40	»	26 » — 37 »	
6	»	45	»	25 » — 36 »	
6	»	47	»		100 ccm frische Ringersche Lösung.
6	»	50	»	25 Vs. — 37 Tropfen	
7	»			25 » — 34 »	
7	»	5	»	25 » — 33 »	
7	»	10	»	24 » — 32 »	
7	»	20	»	23 » — 30 »	
7	»	32	»	24 » — 30 »	
7	»	45	»	23 » — 26 »	

Dasselbe, was die Vergleichung dieser beiden Versuche ergibt, war in jedem anderen Falle zu ersehen. Zu einer Zeit also, wo eine normale Ringerlösung die Herztätigkeit noch fast unverändert erhält, ist eine unverdünnte Kondenswasserlösung nicht mehr in gleichem Maſse dazu befähigt, sie wirkt also, wenn auch in geringem Grade, schädigend auf das isolierte Herz ein. Das scheint mir mit Sicherheit aus meinen Versuchen hervorzugehen.

Suchen wir nun nach dem Grunde dieser Erscheinung, so müssen wir sagen, daſs sie zunächst dieselben Bestandteile ent-

hält wie die Ringersche Lösung, und im gleichen Verhältnis, also die erforderlichen anorganischen Salze, die zugesetzt werden. Es fehlt nichts, es mufs also noch etwas in dem Kondenswasser hinzugekommen sein. Da könnte man zunächst an die Spuren von Kohlensäure denken, die in dem Kondenswasser enthalten sind, wie wir oben gezeigt haben, zumal der Kohlensäure von vielen Forschern ein schädigender Einflufs auf die Herztätigkeit zugeschrieben wird, der von anderen allerdings bestritten wird. Die für die Schädlichkeit angeführten Experimente können wir nicht ohne weiteres für unsere Verhältnisse übertragen, da dieselben, soweit sie an Kaltblüterherzen angestellt wurden, stets sich auf reichliche Mengen von Kohlendioxyd, meistens auf damit gesättigte Lösungen beziehen. Selbst Grofs[1]), der die Schädlichkeit der Kohlensäure vertritt und für Warmblüterherzen nachgewiesen hat, gibt zu, dafs »die Experimente von Göthlin (welche an Froschherzen ausgeführt wurden) zeigen, dafs ein gewisser Gehalt an Kohlensäure nicht schädlich wirkt«. Und Langendorff[2]), der die gesamte vorhandene Literatur zusammenfafst, kommt zu dem Schlusse: »Die übertriebene Furcht vor kleineren Kohlensäuremengen ist also unberechtigt.« Leider liegen quantitative Untersuchungen über den Einflufs der CO_2 noch immer nicht vor. Da nun aufserdem der CO_2-Gehalt des Kondenswassers nicht wesentlich höher gefunden wurde als derjenige des destillierten Wassers — wir fanden für 100 ccm 0,9, 1,0, 0,8 mg — welches wir zur Herstellung unserer normalen Ringerlösungen benutzten, so sind wir wohl berechtigt, den Spuren von Kohlensäure die von uns beobachtete Schädigung nicht zuzuschreiben. Das ev. vorhandene Ammoniak[3]) kann ebenfalls nicht in Betracht kommen, da die Mengen noch viel kleiner sind wie die der Kohlensäure. Schliefslich wäre das Kohlenoxyd, welches von Jackson beobachtet wurde, noch zu erwähnen, doch abgesehen davon, dafs es schon wegen seines Partiardruckes in der Exspirationsluft, wegen seines geringen Absorptionskoeffi-

1) Grofs, E., Pflügers Archiv, Bd. 99.
2) Langendorff, O., Ergebnisse d. Physiol., 1902.
3) Formánek, a. a. O.

zienten und wegen des Ausfrierens nicht zu berücksichtigen wäre, ist es für das Herz kein Gift, und wird es auch für den Menschen erst lediglich durch Vermittlung des Blutes.

Wir kommen also zu dem Schlusse, dafs das Kondenswasser menschlicher Ausatmungsluft, wenn auch in geringem Grade, die Tätigkeit des isolierten Froschherzens schwächt, und zwar infolge Anwesenheit von Stoffen, die wir nicht kennen. Da die Wirkung sehr gering ist und immerhin an der Grenze dessen steht, was wir als Schädigung bezeichnen können, so wäre es wünschenswert, auf irgendeine Weise eine Konzentration der unbekannten Stoffe in der Flüssigkeit zu erreichen und dann die Einwirkung auf das Froschherz zu studieren, um so unsere Behauptung zu erhärten. Jedenfalls aber berechtigen unsere Resultate zu der Aufnahme von Untersuchungen, wie sie schon von Würtz angestellt wurden, den oder die unbekannten Körper zu isolieren, um dann die physiologischen Wirkungen der reinen Substanz zu studieren.

Anschliefsend haben wir Untersuchungen angestellt über die Einwirkung des von einigen unserer Beleuchtungsmaterialien zu erhaltenden Kondenswassers. Zunächst benutzten wir dasselbe, wie es in dem Junkerschen Kalorimeter gewonnen wird. Es zeigte sich, dafs dasselbe auffallend giftig wirkte. Es mag dahingestellt bleiben, ob daran Verunreinigungen des Apparates schuld waren, oder ob sich infolge katalytischer Wirkung des heifsen Metalles, wie es nach den Untersuchungen von Trillat[1]) naheliegen könnte, in reichlichem Mafse Formaldehyd gebildet hatte, welches nach den Angaben von Mosso und Paoletti[2]) für das isolierte Froschherz giftig ist. Jedenfalls war das Junkersche Kalorimeter ungeeignet, Kondenswasser darzustellen und wir verwandten deshalb folgendes Verfahren: oberhalb des Zylinders der betreffenden Lampe wurde ein Glasrohr angebracht aus schwer schmelzbarem Glase und von der Weite des Zylinders; dasselbe war dann umgebogen, verjüngte sich und stand in Ver-

1) Trillat, A., Compt. rend., 1904, t. 138, p. 1613.

2) Mosso, N. und Paoletti, L., Arch. ital. de Biol., 1895, t. XXIV, p. 320.

bindung mit einem Kühler; an diesen schlofs sich ein zweiter, durch welchen Eiswasser flofs, und hieran die Vorlage. Die Verbrennungsgase wurden mit Hilfe einer Saugpumpe durch das System hindurchgesogen, wobei der Wasserdampf kondensierte. Zunächst wurde Wasserdampf von kochendem Wasser durch den Apparat kondensiert, als Ringersche Lösung zubereitet und zeigte keine andere Wirkung als unsere normale Ringersche Lösung. Darauf wurde Kondenswasser von verschiedenen Beleuchtungsmaterialien hergestellt, vom Bunsenbrenner, Argandbrenner, Auerbrenner und von einer Petroleumlampe. Das erhaltene Kondenswasser war klar und reagierte schwach sauer. Diese Reaktion mufsten wir beseitigen, um es zum Durchleiten durch das Herz benutzen zu können. Wir gingen deshalb in folgender Weise vor: wir präparierten das Kondenswasser als Ringersche Lösung, wobei schon die saure Reaktion verschwand, und benutzten dann zur Untersuchung 25 ccm dieser Kondenswasser-Ringer-Lösung + 25 ccm unserer normalen Lösung. In jedem Falle erhielten wir so eine deutlich ausgesprochene schädigende Wirkung.

Es seien hier einige Versuche angeführt:

Auerbrenner.

Herz einer Ran. escul. ♂

Zeit	
6 Uhr 10 Min.	am Williamschen Apparat, gespeist mit 50 ccm Ringerscher Lösung.
6 › 20 ›	12 Vs. — 33 Tropfen
6 › 25 ›	13 › — 37 ›
6 › 30 ›	13 › — 36 ›
6 › 33 ›	50 ccm der erwähnten Mischung.
6 › 35 ›	13 Vs. — 32 Tropfen
6 › 40 ›	13 › — 31 ›
6 › 45 ›	33 › Systolen nicht zählbar infolge heftiger Peristaltik.
6 › 50 ›	16 Vs. — 31 Tropfen
7 ›	14 › — 31 ›
7 › 5 ›	16 › — 29 ›
7 › 10 ›	16 › — — › ganz kleine Exkursionen in weiter diastolischer Stellung.
7 › 20 ›	Stillstand.

Argandbrenner.

Herz einer Ran. escul. ♂

3 Uhr		am Williamschen Apparat, gespeist mit 50 ccm Ringerscher Lösung.	
3 ›	5 Min.	22 Vs. — 48 Tropfen	
3 ›	10 ›	22 › — 46 ›	
3 ›	15 ›	22 › — 46 ›	
3 ›	16 ›	50 ccm der erwähnten Mischung.	
3 ›	17 ›	sofort beginnt peristaltische Bewegung.	
3 ›	19 ›	15 Vs. — 6 Tropfen	
3 ›	23 ›	Stillstand in weiter Diastole.	

Durchfließenlassen von frischer Ringerscher Lösung bringt keine Erholung.

Bunsenbrenner.

Herz einer Ran. escul. ♂

4 Uhr	35 Min.	am Williamschen Apparat, gespeist mit 50 ccm Ringerscher Lösung.	
4 ›	45 ›	18 Vs. — 41 Tropfen	
4 ›	50 ›	18 › — 41 ›	
4 ›	52 ›	50 ccm der erwähnten Mischung (U).	
4 ›	55 ›	17 Vs. — 17 Tropfen	
4 ›	57 ›	ganz schwache Pulsationen, die wenig fördern.	
5 ›	4 ›	Durchleiten von normaler Ringerscher Lösung und wieder zur Erholung gebracht.	
5 ›	25 ›	12 Vs. — 31 Tropfen	
5 ›	27 ›	Lösung U.	
5 ›	30 ›	12 Vs. — 24 ›	
5 ›	35 ›	12 › — 2 ›	Stillstand.

Ein ähnliches Resultat erhielten wir bei Prüfung des Kondenswassers von einer Petroleumlampe. Zu vergleichenden Schlüssen sind unsere Versuche nicht geeignet, da wir nur wenige derselben anstellten und nicht unter Bestimmung der quantitativen Verhältnisse. Sie können lediglich nur den qualitativen Nachweis erbringen, daſs das Kondenswasser das isolierte Froschherz schädigt.

Sie sollten gewissermaſsen auch nur als Vorversuch dienen zur Prüfung der physiologischen Wirkung der Verbrennungsprodukte in der Konzentration, wie sie in den entweichenden

Gasen auftreten. Denn nur so müssen sie für uns von wesentlichem Interesse sein; die in dem Kondenswasser vorhandene Konzentration hat nur orientierenden Wert.

Die vorliegenden Versuche haben bewiesen, dafs das isolierte Froschherz ein Mittel ist, um kleinste Mengen solcher Stoffe, die einer anderweitigen Analyse Widerstand entgegensetzen, aufzufinden und einer, wenn auch erst nur annähernden Charakterisierung entgegenzuführen.

Die Beziehungen zwischen Bakterienwachstum und Konzentration der Nahrung (Stickstoff- und Schwefelumsatz).

Von

Max Rubner.

Einleitung.

In einer früheren Abhandlung habe ich das Hauptproblem der Lehre von dem Stoffwechsel der Bakterien auseinandergesetzt und auf die Notwendigkeit verwiesen, mit der Vorstellung zu brechen, dafs diese einzelligen Lebewesen nur zu wachsen hätten, vielmehr sei sicher, dafs auch der Stoffwechsel der Zelle selbst sehr wesentlich sein müsse. Ich habe dafür auch die Beweise erbracht, das »Wachstum« macht in energetischer Hinsicht nur einen Teil, den kleineren, der energetischen Vorgänge aus.[1])

Während wir bei den höher organisierten Wesen für das Wachstum bereits präformierte Stoffe in der Nahrung finden, hat die Bakterienzelle zweifellos in vielen Fällen das Grundmaterial so zu verändern und zusammenzufügen, dafs es sich zum Ansatze eignet.

Wer in die biologischen Prozesse dieser einzelligen Wesen eindringen will, mufs von vornherein diese Probleme zergliedern und die einzelnen Verschiedenheiten auseinanderhalten.

Die Natur der Bakterien ist erst allmählich eines gewissen Mythus entkleidet worden. Ihr Leiberaufbau ist durch die in meinem

1) Archiv f. Hygiene, XLVIII, S. 260.

Laboratorium ausgeführten und späterhin auf meine Veranlassung durch E. Cramer weitergeführten Analysen und Versuche näher geklärt werden. Nishimura hat sodann gezeigt, wie gewisse bis dahin noch wenig oder gar nicht als Bakterienbestandteile erkannten Grundstoffe aller sonstigen tierischen und pflanzlichen Zellen bei diesen Kleinlebewesen recht wohl aufzufinden und auch quantitativ zu verfolgen sind.

So glaube ich nunmehr den Zeitpunkt für gekommen, die Ernährungs- und Lebensvorgänge quantitativ näher verfolgen zu können. Sie gliedern sich offenbar in Wachstum und Umsatz. Wenn wir aber, an solche Probleme herantreten, und uns umsehen, so stehen wir vor einer solchen Fülle verschiedener Spezies mit besonderen Eigentümlichkeiten, merkwürdigen biologischen Vorgängen und seltsamen Lebensäufserungen, dafs man zunächst kaum weifs, wie und wo man etwa anzufassen hätte.

Aber schliefslich liegt die Sache nicht viel anders als in der Tierphysiologie, man hat da auch einzelne Spezies herausgegriffen und allmählich die verschiedenen »Typen« kennen gelernt. Entscheidend ist mehr für die Wahl der Wunsch solche Organismen zu finden, welche für die Anwendung einer exakten Methodik geeignet sind, die weiteren Analysen ergeben sich von selbst.

Die nachfolgenden Untersuchungen sind meist in den Jahren 1893—95 angestellt mit einigen späteren Ergänzungen.[1])

Der erste Teil bezieht sich zunächst auf das Wachstum, die nachfolgende Abhandlung auf die energetischen Beziehungen beim Umsatz.

Das Wachstum ist eine Erscheinung der jugendlichen Zelle; es ist dadurch charakterisiert, dafs, wie ich für den kindlichen Organismus auseinandergesetzt habe, zur Wachstumsperiode auch ganz kleine Nahrungsüberschüsse N-haltiger Natur sofort aus dem Kreislauf gezogen und als Organeiweifs dem übrigen beigefügt werden.[2])

1) Leider erlaubte es meine viel in Anspruch genommene Zeit nicht, früher damit abzuschliefsen.

2) Zeitschr. f. exper. Path. u. Ther., I. Bd., S. 1.

Diese Wachstumskraft erschöpft sich allmählich und für die einzelnen Spezies der Tiere in ganz gesetzmäfsiger Weise. Das Eiweifs der Nahrung gerät dann von selbst mehr und mehr in die einfache Verbrennung der übrigen Nahrungsstoffe hinein.

Der ausgewachsene Organismus hat wohl die Eigenschaft des Wiederersatzes vorher zu Verlust gegangenen Eiweifses, aber kein wahres Wachstum.

Ist die Wachstumsperiode zu Ende, so kann sie künstlich nicht mehr geweckt werden. Der Organismus kann aber noch Jahrzehnte hindurch leben und zeigt die Erscheinung des einfachen Stoffwechsels. Wachstumsperiode und Lebenszeit stehen in keinem engen Zahlenverhältnis, sondern sind nach der Spezies verschieden. Man nimmt an, dafs die Lebenszeit eine Funktion der Fortpflanzungswahrscheinlichkeit sei.

Die Wachstumserscheinungen sind, namentlich bei manchen Tierklassen wie den Insekten, sehr komplizierte, auf mehrere Perioden (Ei, Larve, Puppe, reifes Tier) genau verteilt.

Zumeist ist die Fortpflanzung auf die Zeit der vollen Entwicklung des Tieres verlegt.

Bei den einzelligen Wesen bildet die Wachstumsperiode vielfach zugleich die Fortpflanzungsperiode; es ist aber keineswegs bewiesen und auch nur wahrscheinlich, dafs das Wachstum unbedingt mit dem Leben verbunden sein müsse, sondern auch ohne Wachstum zeigen viele Mikroorganismen die zweifellose Fähigkeit zu leben und ihre eigenartigen Umsetzungen hervorzurufen, wie z. B. die Hefe.

Die Abfallprodukte der Bakterien können aus den Wachstumsvorgängen wie aus den Stoffwechselvorgängen im engeren Sinne herrühren.[1])

Das Wachstum der Bakterien ist eine verhältnismäfsig einfach zu verfolgende Gröfse, trotzdem besitzen wir sehr wenig genauere quantitative Angaben hierüber, weil eine wirkliche Erntebestimmung noch von Wenigen versucht worden ist.

1) Es ist daher falsch, auch immer nur von Stoffwechselprodukten zu sprechen.

Eine solche allgemein anzuwendende Methode habe ich vor Jahren näher durchgearbeitet und publiziert.[1])

Die synthetischen Vorgänge bei Wachstumsprozessen verlaufen, wie ich bei der Hefe gesehen habe, aufserordentlich rasch (Arch. f. Hyg. XLVIII S. 406), ähnlich rapid der Stoffwechsel im engeren Sinne.

Am bekanntesten sind die Wachstumserscheinungen selbst, weil diese mikroskopisch und makroskopisch gesehen und studiert werden können, während der Stoffumsatz der sich nicht mehr vermehrenden aber noch lebenden Zellen natürlich nur durch besondere Untersuchungen sich nachweisen läfst.

Indem ich mir in der nachfolgenden Abhandlung die Aufgabe gestellt habe, die Geschehnisse des Wachstums einer näheren quantitativen Untersuchung zu unterziehen, mufste ich in erster Linie die Frage erörtern, wie man das Gewachsene messen und bestimmen kann.

Die Ergebnisse des Wachstums lassen sich nicht nach dem Volumen und Gewicht der Bakterien schätzen, weil diese Gröfsen keine inneren Einheiten sind, sondern von wechselndem Aufbau sein können.

Es würde sich daher stets empfehlen, wie dies auch in der Tierphysiologie bis jetzt mit Vorteil geschehen ist, ein mit den Lebenseigenschaften und dem Protoplasma eng verknüpftes Element als Richtschnur zur Beurteilung der wahren Leibessubstanz beim Wachstum zu wählen, den N. Freilich enthalten die Bakterien, wie Cramer gezeigt und wie aus meinen Versuchen bei Hefezellen hervorgeht, gewisse Anteile an N-haltigen Extraktivstoffen. Aber auch mit Rücksicht hierauf werden Fehler in der Bestimmung der Leibessubstanz am geringsten, wenn man sich an dieses Element als Leitfaden hält.

Wir besitzen für die Beurteilung des Ansatzes einer Leibessubstanz noch ein zweites wichtiges Element, den S.

---

1) Energieverbrauch im Leben der Mikroorganismen. Archiv f. Hygiene, XLVIII, S. 260 ff.

Die beiden sind wegen des wenig schwankenden Verhältnisses in bestimmten Eiweifsstoffen ein wichtiger Anhaltspunkt für die regelmäfsigen Zersetzungsvorgänge des Eiweifses selbst.

Auch im Bakterienleib haben wir ganz ähnliche Verhältnisse, wie ich vorausschicken darf; der Quotient $\frac{S}{N}$ ist ein sehr konstanter für den Bakterienleib. Die Differenzen der Zusammensetzung betreffen also hauptsächlich mehr den Gehalt an fetthaltigen und kohlehydrathaltigen Bestandteilen der Zelle, sie sind sekundäre Mast-Erscheinungen.

Ich habe in folgendem versucht, die Wachstumsgesetze aufzufinden hinsichtlich der Abhängigkeit von der wechselnden Konzentration des Nährbodens und dabei den N- und S-Gehalt der Ernten zur Feststellung der Wachstumsgröfse benutzt.

Das Unternehmen ist insofern schwierig, als es sich im allgemeinen um die Bestimmung kleiner Werte handelt, besonderns insoweit der S in Betracht kommt, ist dessen Feststellung eine sehr diffizile Sache.

Man kann aber doch zum Ziele gelangen, wenn man nicht zu kleine Mengen von Kulturflüssigkeiten anwendet und durch die Auswahl der Bakteriensorte tunlichst eine Spezies gewinnt, deren Leben dem betreffenden Nährboden optimal angepafst ist.

Zurzeit sind nur einzelne Lebensfaktoren in ihrem Zusammenhang mit dem Wachstum behandelt worden, ohne indes in der Methodik den besten Anforderungen zu entsprechen. Die meisten gerade einfacheren Lebensbedingungen sind in ihrer Beeinflussung noch unbekannt.

Das Wachstum würde am besten gleich im Verhältnis zum übrigen Kraftwechsel behandelt; das ist für manche Fälle wohl möglich, kann aber doch nicht so allgemein durchgeführt werden, weil die Methoden der Untersuchung noch sehr komplizierte sind.

Immerhin kann auch dem Studium des Wachstums für sich ein Wert nicht abgesprochen werden.

Der Stickstoffansatz.

Die einfachste aber auch wieder sehr wesentliche Frage betrifft den Zusammenhang der Nahrungsmenge auf die Lebensprozesse. Bakterien kann man nun freilich nicht direkt nähren, man kann ihnen das Futter nur darbieten, und damit fällt für uns eine wichtige Kontrolle weg, die bei Tieren die Prozesse leichter verfolgbar macht. Die Nährflüssigkeit ist und bleibt ein Gemisch von Nahrung, Ballast und Ausscheidungsstoffen; aber da wir in folgendem zunächst die Verhältnisse des N-Ansatzes betrachten wollen und der Ansatz in einem gewissen Verhältnis zu den übrigen Stoffwechselvorgängen, wenn auch nicht in einem ganz konstanten steht, so lassen sich die Einflüsse der Nahrungsmenge wenigstens in dieser Hinsicht näher aufklären.

Zu den Lebensbedingungen, welche am häufigsten als Variable für die Bakterien in Frage kommen, sind Temperatur- und Konzentrationsänderungen der Nährflüssigkeit und Nährböden zu rechnen.

In jeder Nährlösung nimmt von einer gewissen Zeit ab das Wachstum ab, um schliefslich still zu stehen. Die Gründe hierfür sind schon mehrfach versucht worden darzulegen. Manche sprechen von einer Erschöpfung als Ursache des Wachstumsstillstandes, andere von der Hemmung durch Stoffwechselprodukte usw. Wie das Wachstum der Bakterien zunimmt, so mufs in ähnlicher Art auch die Konzentration an Nährstoffen abnehmen, wenn Stoffwechsel und Wachstum in konstantem Verhältnis stehen.

Nicht nur in der künstlichen Kultur, auch im praktischen Leben müssen Bakterien verschiedenen Stoffkonzentrationen sich anpassen. Regenfall oder Wasserverdunstung ändert den Gehalt an Nahrstoffen in Pfützen und Wasserrinnen. Die städtischen Abwasser werden in ihrem Nährwert von dem Flufswasser verdünnt, und Nährwertkonsum findet sich überall im Reiche der Mikroben.

Es kommen allerdings dabei genügend häufig Fälle vor, in denen Suspendiertes als Nahrungsboden dient. Ich habe schon an anderer Stelle hervorgehoben, dafs auf diese besonderen Verhält-

nisse eine Verdünnung der Nährböden keine Einwirkung äufsert, weil ja das Suspendierte ein Nährböden ist, auf dem trotz aller Verdünnung die Zellen haften können.

Die Suspensa in Flüssigkeiten sind daher vom Standpunkte der Flufsverunreinigung ganz anders zu beurteilen als gelöste Nahrungsstoffe, für welche die nachfolgenden Untersuchungen einen näheren Anhaltspunkt hinsichtlich der biologischen Wirkung bieten.

Das Studium der Nahrungskonzentration und des Wachstums ist auch von allgemeinem Interesse. Denn Erfahrungen über die Einflüsse der Konzentrationsänderung im Nahrungsstrom stehen uns auf dem Gebiete der Tierphysiologie nicht ausreichend zu Gebote, im tierischen Organismus haben wir andere Bedingungen. Die Resorption aus dem Darmkanal und die Zirkulation des Blutes regulieren den Säftestrom, der in seinen Nährqualitäten nur geringe Änderungen durchmacht. Die Zellen erhalten zwar ungleich Nahrungsmaterial zugeführt, aber sie schwimmen doch nicht im wahrsten Sinne des Wortes in dem überschüssigen für Tage und Wochen bestimmten Ernährungsmaterial wie die Mikroorganismen. Das letztere strömt an den Zellen vorüber, in seinen Konzentrationen enger begrenzt. Die Zelle ist unbeweglich, das Nährmaterial fliefst.

Bei den Bakterien pflegt zumeist das Nährmaterial in Ruhe zu sein, während die ersteren die Nahrung aufzusuchen haben, indem ihnen in irgendeiner Form die Fähigkeit der Ortsveränderung gegeben ist.

Aber die Variationen des Nahrungsstromes bedingen wohl weder bei der tierischen Zelle noch bei der Bakterienzelle in gleicher Weise Unterschiede im intrazellulären Saftstrom.

Wenn sich die Bakterienzelle in der Überflut von Nahrung eingebettet findet, so dürfen wir erwarten, dafs bestimmte regulatorische Einrichtungen zunächst auch ihre Berührung mit dem Nährmaterial und dessen Ausnutzung regeln.

Die Aufnahme des Nährmaterials erfolgt durch die Zellwand hindurch, wahrscheinlich bedingt durch besondere wechselnde Eigenschaften der Zellmembran, die, vereint mit osmotischen Druckkräften, den Säftestrom regelt. Ähnlich ist die Abgabe von Zersetzungsprodukten nach aufsen.

Die chemische Arbeit der Umsetzung wie die des Ansatzes hat ihre gewisse Spannweite aber eben durch ihre natürliche biologische Begrenzung. Die Verhältnisse des Einflusses der äufseren Ernährungsbedingungen, d. h. der umgebenden Nährlösung müssen daher durch die biologischen Eigenschaften der Zelle begrenzt sein, und durch ihre maximale Leistungsfähigkeit innerhalb gewisser Grenzen gehalten werden. Wie weit diese Akkommodationsfähigkeit und Leistungsbreite reicht — darüber ist Näheres nicht bekannt. Die begrenzte Leistung des Zellprotoplasmas bildet aber das Ausschlaggebende bei den Umsetzungen (intrazellularer Stoffumsatz).

Verschiedene Erfahrungen legen es nahe, dafs ein Teil von Umsetzungen extrazellulär erfolgt, wie ich a. O. an konkreten Fällen beweisen werde; es handelt sich meist um Vorgänge, welche zum Teil die Aufgabe haben, das Nahrungsmaterial vorzubereiten, zum Teil aber den Charakter fermentativer Nachwirkungen besitzen.

Hinsichtlich einer wichtigen Eigenschaft scheinen aber die Bakterien und ähnliche kleine Lebewesen besonders ausgezeichnet, durch das rasche Wachstum. Dagegen ist jedes Wachstum der neugebornen Warmblüter anscheinend ein unglaublich geringes. Ein kleines Kaninchen verdoppelt in 6 Tagen sein Gewicht, ein Meerschweinchen in 13 Tagen, ein Rind in 47 Tagen, ein Pferd in 60, der Mensch in 180 Tagen; manche Bakterien aber binnen 20 Min., sie wachsen also etwa 130000 mal so schnell als der Mensch und über 4300 mal so schnell als ein Meerschweinchen. Mit diesem raschen Wachstum müssen selbstredend auch die anderen Stoffwechselvorgänge — Einnahme der Nahrung, Ausstofsung der exkretorischen Massen — gleich beschleunigt sein.

Mit solchen und ähnlichen Angaben wird aber offenbar eine falsche Vorstellung von der energetischen Leistung der Kleinlebewesen hervorgerufen.

Die wirklichen Leistungen des Bakterienprotoplasmas sind keineswegs so grofs, wenn sie mit dem Warmblüterorganismus unter geeigneten Umständen verglichen werden. Diesen Fragen werde ich in einer späteren Abhandlung nähertreten.

Die mir wichtig erscheinende Kardinalfrage der Ernährung über die Beziehungen der Nährstoffmenge zum Wachstum könnte in verschiedener Weise in Angriff genommen werden. Bis jetzt enthält die Literatur geeignetes Material zur Beurteilung dieser Frage überhaupt nicht.

Die Konzentration des Nährbodens fafst man zwar im allgemeinen als einen beachtenswerten Faktor für das Bakterienwachstum auf, aber das Hauptgewicht legt man der Auswahl der Konzentration nach der Richtung bei, dafs eben bestimmte Grenzen für die Akkommodationsfähigkeit der Bakterien bestehen. Man sagt aber, die Konzentration[1]) könne innerhalb weiter Grenzen schwanken, weil manche Spaltpilze in den festweichen Nährböden mit 80% Wassergehalt ebensogut wachsen, wie in verdünnter Nährlösung, welche nur Spuren von Nahrungsstoffen enthalten. Die untere Grenze der Konzentration sei nur durch die drohende Erschöpfung von Nährmaterial festgelegt. In diesen nur die Entwicklungsmöglichkeit ins Auge fassenden Sätzen ist aber die Bedeutung der Konzentration nicht im entferntesten erschöpft, wie sich durch meine Versuche wird zeigen lassen.

Gewifs ist die Begrenzung der Wachstumsmöglichkeit überhaupt eine Angelegenheit von grofser Bedeutung. Es gibt Grenzen der Konzentration, welche ein Wachstum überhaupt nicht zulassen, das läfst sich ohne weiteres durch mehr orientierende Versuche entscheiden.

Meine Untersuchungen sind an einer Proteusart angestellt worden. Sie kann auf weiteres Interesse gar nicht Anspruch erheben und verdankt den Vorzug ihrer Wahl nur dem ungewöhnlich lebhaften Wachstum auf dem Fleischextrakt-Nährboden. Für diese Proteussorte lag die Grenze der Hemmung bei 23% Fleischextrakt (= 30% frische Substanz), eine weitere

1) Flügge, Die Mikroorganismen, I, S. 130.

Grenze nach unten gibt es fast überhaupt nicht, da man selbst in Verdünnungen, die eben noch eine gelbe Farbezeigen, gutes Wachstum erhält. Die Wachstumsgrenzen sind demnach sehr bedeutende, und der gewählte Nährboden wie die betreffenden Bakteriensorte für die vorliegende Frage geeignet.

Der Versuchsplan ging dahin, nicht etwa die Veränderungen des Wachstums in einem einzelnen Kulturgefäfse zu verfolgen, sondern den Bakterien von Anfang an verschiedene Konzentrationen desselben Nährbodens zu bieten.

Der Nährboden war alkalisch gemachter (filtrierter) Fleischextrakt[1]), der einheitlich hergestellt wurde, und dessen Konzentration dann weiter durch destilliertes Wasser abgestuft wurde, so dafs zum Versuch kamen die Konzentrationen 1, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$. In Nachstehendem ist stets unter diesen Zahlen nur die gleiche Nährkonzentration verstanden.[2])

Die Kolben mit Nährflüssigkeit wurden alle zur selben Zeit geimpft und kamen gleichzeitig in die Brutschränke.

Aufgabe war, nach einer bestimmten Zeit die Ernten abzuscheiden und die chemische Analyse auszuführen, stärkere Verdünnungen wie $^1/_{16}$ waren analytisch unverwertbar.

Die vorliegenden Untersuchungen lassen sich mit Ergebnissen einfacher Bakterienzählungen nicht in Vergleich stellen, weil bei diesen, wenn es sich um Plattenkulturen handelt, nur die lebensfähigen Zellen, bei einfacher Auszählung der Individuen aber wegen der Gröfsen- und Gewichtsdifferenzen genauere Bestimmungen unmöglich sind. Dies ist besonders für die Fälle zu bemerken, in denen der Nährboden tunlichst ausgenutzt sein soll.

Da bei meinen Versuchen auch die konzentrierten Nährböden an sich keineswegs eine hohe Konzentration besafsen (6%), die Grenze für das Wachstum etwa bei 40% lag, so könnte weit mehr die Frage aufgeworfen werden, ob nicht bei den verdünntesten Lösungen eine gewisse Akkommodation für die Bakterien nötig

1) Alkaleszenz austitriert!

2) Die Zahl 100 ist gleich der Stammlösung, sie gilt für alle Experimente dieser Abhandlung.

war; da übrigens die Beobachtungszeiten durchschnittlich bis 8 Tage betrugen, so war Zeit genug für eine solche Akkommodation, wenn sie hier überhaupt eine Rolle spielt, gegeben.

Unter den N-Werten ist in nachstehendem stets das Ergebnis der Kjeldahlbestimmung gemeint, unter S die Bestimmung des Schwefels als SO_4Ba nach bekannten Methoden.

Von je einem Kolben mit Kultur konnte wenigstens für die Ernte natürlich nur eine Bestimmung ausgeführt werden, daher sind unter Kontrollbestimmungen Doppelversuche zu verstehen, d. h. die Analyse zweier gleichzeitig angesetzter Kulturen.

Da man von Anfang an nicht wissen konnte, wie lange Zeiten zur Beobachtung einer maximalen Ernte notwendig sind, ob diese Ernten zu verschiedenen Zeiten erreicht werden, und wann, ob eine Degeneration und Auflösung absterbender Bakterien eintritt, so mufste hierüber durch Vorversuche Klarheit geschaffen werden.[1])

Dies ist auch geschehen, und in den meisten Fällen wurden sogar nicht nur die maximalen Ernten, sondern auch die Ernten einzelner Zeitintervalle festgestellt.

Ehe wir an die Versuchsresultate gehen, wollen wir rein aprioristisch erörtern, welche Modalitäten des Wachstums möglich und zu erwarten sind.

Sät man eine kleine Menge von Bakterien in einem konzentrierten und einem verdünnten Nährmedium aus, so kann der eine Fall angenommen werden, dafs die Bakterien, da sie einer ungeheuren Masse von Nährmaterial sich gegenüber befinden, sich zuerst auf ihre maximale Leistungsfähigkeit im Wachstum einstellen und dann mit abnehmender Geschwindigkeit die Stoffe des Nahrungsvorrates aufzehren.

Dann würde die Bakterienmasse in dem verdünnten Nährboden zuerst das Ende ihrer Tätigkeit erreicht haben und dann erst würden die konzentrierten Lösungen nachfolgen.

Eine zweite Möglichkeit läge darin, dafs die ungleiche Konzentration in den höheren Werten derselben einen »Über-

1) Die Kenntnis der zeitlichen Kurve des Wachstums kann gleichfalls von Bedeutung sein (s. u.).

schufs« von Nahrung darstellt, der dann einfach zur Ablagerung gebracht wurde.

Es könnte dabei sich so erhalten, dafs zwar die Lebensintensität der ausgesäten Zelle dieselbe bleibt oder doch die physiologische Breite der Schwankung nicht verläfst, dafs also, weil doch grofse Überschüsse an Nahrung bei der doppelten, vierfachen, achtfachen Konzentration vorliegen, die Ansatzmengen verschiedene sind. Ist dies der Fall, dann erreicht die Protoplasmazunahme in den einzelnen Fällen verschieden rasch die zur Teilung führende Überschufsgröfse. Das neu erzeugte Protoplasma nimmt übrigens sofort an den Umsetzungen teil und fördert wieder das Wachstum.

Nach meinen Erfahrungen an Tieren ist es übrigens wahrscheinlich, dafs wohl die Stoffwechselumsetzungen bei stärkerem Wachstum auch beschleunigt sind. In diesem Falle würde also vorausgesetzt Steigerung des Energieumsatzes innerhalb der physiologischen Breite und zunehmender Massenzuwachs.

Die Folge könnte dann sein, dafs in der stärkeren Konzentration der Mehrverbrauch durch die neugebildeten Zellen so grofs wird, um geradezu den Vorrat in schnellstem Tempo zu erschöpfen.

In welchem Grade die Steigerung der Lebensvorgänge durch die Konzentration zunimmt, läfst sich a priori nicht einmal vermuten. Das Experiment hat zwischen diesen beiden Möglichkeiten zu entscheiden.

Die eine Kardinalfrage, welche durch das Experiment demnach entschieden werden kann, lautet: ist die Konzentration der Nährlösung ein biologisches Moment, welches zeitliche Unterschiede bis zur Erzielung maximalster Ernten bedingt, ist oder ist es ein Moment, welches zwar keine zeitlichen, wohl aber Intensitätsunterschiede des Lebensprozesses auslöst?

In letzterem Falle versteht es sich von selbst, dafs den höheren Konzentrationen die stärkeren Lebensintensitäten zukommen müfsten.

Die zweite Kardinalfrage wird sich auf das nähere Verhältnis zwischen Ernte und Konzentration der Lösungen beziehen müssen. Sehen wir vorläufig von dem Verlaufe des Wachstums

im einzelnen ganz ab und nehmen wir die Ernte als Wesenseinheit, gewissermafsen als ein Individuum, so wird man sich die Frage vorlegen können, ob die Ernten im ganzen genommen in einem konstanten Verhältnis zur Nahrungsmenge stehen. Das ist bis jetzt einwandfrei nicht erwiesen oder untersucht. Ich gebe in nachstehendem eine Generalübersicht über die Ergebnisse meiner Versuche.

Tabelle I.

Ernten an N in Milligramm bei 36° Temperatur.

Serien:	Konzentration					Dauer des Versuchs in Tagen
	= 100	= 50	= 25	= 12,5	= 6,2	
I	0,596	0,199	0,071	0,035	0,017	8
II	0,576	0,230	0,082	0,033	0,018	
III, IV	0,507	0,244	0,087	0,036	0,021	
VI	0,513	0,210	0,089	—	0,018	
Mittel	0,518	0,220	0,082	0,035	0,018	
Relat. Werte	100	42,4	15,8	6,7	3,5	
I	0,456	0,163	0,060	0,030	0,016	6
II	0,478	0,174	0,058	0,032	0,015	
III, IV	0,440	0,168	0,066	0,033	0,019	
VI	0,413	0,169	0,062	—	0,013	
Mittel	0,447	0,173	0,060	0,032	0,016	
Relat. Werte	100	38,5	13,4	7,1	3,5	
I	0,302	0,150	0,053	0,036	0,015	4
II	0,325	0,146	0,041	0,031	0,012	
III, IV	0,337	0,162	0,050	0,033	0,021	
VI	0,324	0,153	0,059	—	0,017	
Mittel	0,328	0,152	0,051	0,033	0,016	
Relat Werte	100	51,0	17,1	11,0	5,4	
I	0,284	0,148	0,041	0,032	0,009	2
II	0,278	0,139	0,048	0,024	—	
III, IV	0,254	0,131	0,048	0,031	0,013	
VI	0,214	0,123	0,045	—	0,008	
Mittel	0,257	0,135	0,045	0,029	0,010	
Relat. Werte	100	52,5	17,1	11,2	3,9	
Gesamtmitt.	100	48,6	16,6	9,9	4,3	

Dieselben in allen Einzelheiten zu berichten würde bei der Unzahl von Analysen, welche naturgemäfs zugrunde liegen, einen ganz aufsergewöhnlichen Umfang des Tabellenwerkes bedingen. Ich lasse dieselben also beiseite.

Wenn man die einzelnen Serien durchsieht, so sind die Ergebnisse sehr befriedigend gewesen. Neben dem N im Eisenniederschlag wurde auch der N der Filtrate bestimmt, der N-Gehalt des Extraktes war schon vor der Besähung festgestellt worden, wie auch die durch Eisen aus sterilem Extrakt fällbare Substanz.[1])

Die N-Bestimmungen im Filtrat und im Niederschlag zusammengenommen gaben immer weniger N als tatsächlich im Fleischextrakt enthalten war.[2]) Aber das ist begreiflich, wenn man erwägt, dafs ein erheblicher Teil der N-Verbindungen des Fleischextraktes in Ammoniak übergeführt wird und naturgemäfs ein Teil des Ammoniaks durch den Wattpfropfen verdunstet. Ob nicht kleine Anteile in Nitroverbindungen übergegangen sind, habe ich nicht untersucht, es ist dies nicht sehr wahrscheinlich und interessiert zunächst überhaupt nicht.

Im Fleischextrakt fand ich mehrfach 1—1,3% des Gesamt-N abdestillierbares Ammoniak; in der Proteuskultur fanden sich aber bis 20,8% des Gesamt-N als Ammoniak vor. Ich glaube bemerkt zu haben, dafs auch kleine Mengen von Trimethylamin gebildet werden. Die kleinen Mengen NH_3 des Extrakts an sich haben nichts Auffälliges, da man ja, wie bekannt, auch aus dem Fleisch kleine Ammoniakmengen gewinnen kann.

Man kann die Vorfrage stellen, ob es erlaubt ist, die verschiedenen, allerdings unter gleichen Bedingungen angestellten Versuche zu Mittelzahlen zusammenzulegen; sind die Abweichungen in den Einzelernten sehr beträchtlich, so wird man naturgemäfs durch die Mittelzahlen verlässigere Werte erhalten, vorausgesetzt, dafs die Zahl der Untersuchungen in einem gewissen Verhältnis zur Gröfse der Ungleichmäfsigkeiten steht.

1) Daraus ergeben sich die nötigen Korrekturen; hinsichtlich der Methodik verweise ich auf Archiv f. Hyg. XLVIII S. 260.

2) Wir kommen auf diese Gröfsen später zurück.

Unzweifelhaft bietet das Studium der niederen Organismen in dieser Hinsicht zurzeit noch Schwierigkeiten, weil wir, und speziell für die Bakterien, erst die Zulässigkeit der angewandten Methoden erweisen müssen.

Raulin war bei seinen Versuchen mit Aspergillus keineswegs immer in der Lage, ganz zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen; in Musterversuchen erhielt er nicht unerhebliche Abweichungen, indem z. B. die Ernte in einzelnen Versuchen zwischen 3,19 und 1,77 g Trockensubstanz schwankte[1]).

Man wird behaupten können, dafs bei einer Bakterienspezies bei gleichem Nährboden, gleichen physikalischen Bedingungen in gleichen Zeiten fast übereinstimmende Ernten gewonnen werden. Ungleiche Bedingungen erzeugen Ernten, welche um ein Vielfaches, wie das Zehn- und Hundertfache, differieren können, und im Hinblick hierauf sind wir berechtigt, die in Tab. I sich ergebenden Differenzen als genügend klein für die Verwendung und Bildung von Mittelwerten zu betrachten.

Am gleichmäfsigsten fielen die Ernten der Bakterien in dem konzentriertesten Nährboden aus. — Dies erinnert an die von Raulin bei Aspergillus gemachten Erfahrungen; auf verschiedenem Nährboden lieferte dieser Pilz Ernten, welche um das Fünfzigfache verschieden waren. Raulin bemerkt, dafs aber gerade bei sehr guten Nährböden die Ernten am besten übereinstimmen und manchmal nur um $^1/_{24}$ differieren[2]).

In nachstehender Tabelle habe ich die Mittelwerte nach Abzug des N im Eisenniederschlag berechnet, wie er als Korrektur auf Grund meiner früheren Darlegungen (Archiv f. Hyg. Bd. XLVIII S. 260) anzuwenden ist, bemerke aber, dafs Ser. VI anders behandelt ist. In diesem Falle hatte ich am Schlufs des Versuchs eine Kultur (Kontrolle) durch ein Chamberlandfilter geschickt und dann erst durch Eisenfällung die »Korrektion« gewonnen. Die Zahlen ergaben im einzelnen nichts anderes als Resultat, als was auch sonst erhalten worden war, weshalb auf diese umständliche Methodik weiterhin verzichtet wurde.

---

1) Schützenberger, a. a. O., S. 84.

2) Schützenberger, S. 85.

Tabelle II.

Korrigierte Zahl für die Eisenfällung des sterilen Extraktes. [1])

Tag	Konzentration = 100	= 50	= 25	= 12,5	= 6,2
8	0,413	0,163	0,054	0,021	0,011
6	0,342	0,116	0,032	0,018	0,009
4	0,223	0,095	0,023	0,019	0,009
2	0,122	0,078	0,017	0,015	0,003
		Relative Werte:			
8	100	39,6	13,0	5,1	2,6
6	100	33,9	9,3	5,2	2,6
4	100	49,2	11,9	9,8	4,6
2	100	51,3	11,2	9,8	2,0
Mittel	100	43,5	11,4	7,5	2,9

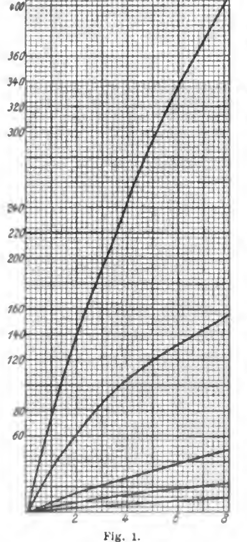


Fig. 1.

Für die weitere Behandlung der gestellten Aufgabe empfiehlt es sich zunächst, die Ergebnisse in graphischer Darstellung vorzuführen, wodurch sich noch einige kleine Wachstumsunregelmäfsigkeiten abgleichen lassen.

Aus Fig. 1 läfst sich dann die Zusammenstellung der abgeglichenen Reinernten, die nachstehend aufgeführt sind, entnehmen.

(Siehe Tabelle III auf S. 177.)

Ehe wir an die weitere Besprechung der Resultate gehen, sollen die Ergebnisse noch durch die Prüfung des S-Stoffwechsels weiter gestützt werden.

1) Korrektur: Mittel für
Serie I—IV = 4,7% des Gesamt-N = 0,126
Serie I—VI = pro 100 Konzentr. = 105 mg
(Serie VI die Anfangszahl) 50 » = 57 »
25 » = 28 »
12,5 » = 14 »
6,7 » = 7 »

Tabelle III.

Abgeglichene Reinernten in mg N.

Tag	Konzentration 100		50		25		12,5		6,25	
	absolut	Zuwachs	absolut	Zuwachs	absolut	Zuwachs	absolut	Zuwachs	absolut	Zuwachs
8	410	70	158	24	50	10	21	3	11	3
6	340	97	134	28	40	12	18	4	8	2
4	243	103	106	46	28	12	14	6	6	3
2	140	140	60	60	16	16	8	8	3	3
0	Relative Werte									
8	100		38,5		12,2		5,7		2,7	
6	100		39,4		11,8		5,7		2,3	
4	100		43,5		11,5		5,7		2,4	
2	100		42,8		11,4		5,7		2,1	
Gesamtmittel	100		41,0		11,7		5,4		2,4	

Der Ansatz des Schwefels.

Das lebende Protoplasma der Bakterien enthält — weil eiweifshaltig — neben dem N als wichtiges Element den S, und man darf nicht bezweifeln, dafs er eine gleich wichtige Stelle wie der N beim Aufbau einnehmen wird. Nach den ausgeführten Analysen ist Proteus vulgaris sicherlich nicht arm an S.

Das Studium des S-Ansatzes gibt eine weitere Gewähr dafür, dafs wir die Wachstumsgesetze der Bakterienleiber und nicht etwa die Erzeugung irgend welcher Nebenprodukte verfolgt haben.

Allerdings ist das Studium des S-Umsatzes noch viel schwieriger wie das des N-Ansatzes, denn die Schwefelmengen sind klein. Um deswillen war die Variation der Nahrungsmenge enger zu ziehen als beim N.

Von einer in grofser Menge hergestellten Kultur (auf Agar) war eine Analyse ausgeführt worden[1]), welche folgende Zusammensetzung ergab:

Trockenrückstand	16,38 %	
Wasser	83,62 %	
In 100 Trockensubstanz N	11,42	
und S	1,67	1 N : 0,142 S.

100 Teile frischer Bakterienmasse entsprechen also 1,872 N[2]) und 1 g N = 53,42 g frischer Proteuskultur, wie sie auf Agar wächst. Vermutlich sind die aus verdünnten Nährlösungen entnommenen Bakterien noch wasserreicher. Ob diese Analysen genau genommen für die Ernte gelten, welche im Fleischextrakt wuchs, kann ich nicht sicher behaupten, habe sogar Gründe es zu bezweifeln.

Es ist nicht ausgeschlossen, dafs die auf Agar gewachsenen Proben noch etwas nährende Substanz enthalten, wenn auch nicht anzunehmen ist, dafs diese Menge gerade erheblich sein müfste.

Was den Nachweis der Bakterien mit der Eisenmethode anlangt, so möchte ich zunächst bemerken, dafs, wie an anderer Stelle nachgewiesen, die Bakterien beim Erhitzen und Ausfällen Saft bzw. eine Art von Extraktivstoffen abgeben, die N und S enthalten, dadurch kann die Relation zwischen N und S, wie er in den frischen Bakterien ist, bei der Eisenfällungsmethode etwas beeinflufst werden.

Die aus dem Fleische oder anderen Organen, wie Leber, Milz, Lungen, Nieren, Thymus, Pankreas extrahierten, in Wasser löslichen Stoffe enthalten, wie ich zuerst dargetan habe, alle kleine Mengen S-haltige Stoffe, welche in den Eisenniederschlag übergehen[3]).

Wie ich dargetan habe, läfst sich der Eisenniederschlag mit den Bakterien leicht auswaschen, ohne befürchten zu müssen,

1) Trockensubstanz 16,45 %; 16,31 » — N 11,45 %; 11,39 » — S 1,67 %; 1,59 » } = 1,62 %.

2) Eine Kartoffelkultur gab 100 Teile frisch = 1,898 g N (s. o.).

3) Archiv f. Hygiene, XVI, S. 67 u. 79.

dafs die beigemengten Bakterien abgelöst werden; von besonderer Wichtigkeit ist aber der Umstand, dafs die durch Eisen fällbaren Stoffe der Bouillon durch das Wachstum der Bakterien bei den von uns beibehaltenen Versuchsbedingungen nicht nennenswert vermindert oder vermehrt werden.[1])

Was den Nachweis der Bakterien mit der Eisenmethode anlangt, so habe ich bei quantitativen Untersuchungen den in Bakterienkulturen enthaltenen S in die Eisenfällung übergehen sehen. Dieser Fehler kann aber in der gleichen Weise wie bei dem N einer genügend genauen Korrektur unterzogen werden.

Die Versuche wurden mit derselben Kultur als Impfmaterial ausgeführt wie die obigen Experimente über N; die Konzentrationen wurden ebenso hergestellt wie für die übrigen Experimente, aber die stärkste Verdünnung weggelassen, da die Bestimmung des S für zu kleine Ernten nicht anwendbar ist. Die Nährlösungen wurden 8 Tage bei 36—37° belassen. Es wurden drei Versuchsserien zu je zwei Versuchen für die verschiedenen Konzentrationen ausgeführt.

Nachstehende Tabelle enthält das Resultat der Reinernte.

Tabelle IV. **Kombination der Serien.**

Konzentration des Fleischextraktes	Reinernte an S	Mittel der Ernte
100	0,0333 0,0306	0,0319
50	0,0122 0,0113	0,0117
25	0,0043 0,0041	0,0042
12,5	0,0008 0,0015	0,0011

Die Ergebnisse decken sich, wie man sieht, völlig mit den Resultaten der N-Analyse.

1) Archiv f. Hygiene, XVI, S. 80.

Die Ernten erreichen in den verschiedenen Konzentrationen bestimmte Endwerte, die untereinander verschieden sind und mit sinkender Konzentration immer kleiner werden.

Zwischen N- und S-Ernte besteht ein bestimmtes, konstantes Verhältnis. Wenn ich in nachstehender Tabelle die früher gefundenen N-Werte eintrage und die Verhältniszahlen zwischen N und S bilde, erhält man fast genau dieselben Zahlen. Ich bemerke, dafs die N-Reihen und S-Reihen ein Jahr auseinanderliegen, weil selbstredend so mühevolle Untersuchungen einen grofsen Aufwand an Zeit erforderten und erst das eine Element und dann erst das andere zur Untersuchung herangezogen werden konnte.

Tabelle V. 8 Tage, 36°.

Konzentration	N-Reinernte Ser. I–IV u. VI	S-Reinernte	N : S 1 :
100	0,413	0,032	0,077
50	0,158	0,012	0,077
25	0,050	0,0042	0,084
12,5	0,021	0,0011	0,053

Die Relation zwischen N und S deckt sich nicht ganz mit dem Befund an der Agarkultur. Es kann dies aber auf die ungleiche Beschaffenheit der Kulturflüssigkeiten und den Umstand zurückgeführt werden, dafs die eine Kultur (Agar) frisch, die andere, die Extraktkultur, aber erst nach Ausfällung der Bakterien in der Wärme analysiert werden konnte.

Vergleicht man die relative Abnahme der Reinernten von N und S zugleich mit der Abnahme der Konzentration an Nährmaterial, so stimmen die Werte, wie man bei der Schwierigkeit der Untersuchung wohl sagen darf, vollkommen überein.

Tabelle VI.

Konzentration	N-Ernte	S-Ernte
100	100	100
50	41	36,5
25	11,7	13,1
12,5	5,4	3 4

Besprechung der Ergebnisse.

Durch die analytischen Werte steht fest, dafs wir in der Lage sind, den Ansatz und das Wachstum der Bakterien in einer Weise zu verfolgen, wie es für die Aufstellung gewisser ernährungsphysiologischer Grundregeln notwendig ist.

Bei meinen Versuchen erfolgte die Aussaat von einer Bouillonkultur der Bakterien, und zwar wurden alle Kolben mit gleichen Mengen infizierender Substanz versetzt.

Mancher mag vielleicht der Ansicht sein, dafs dann durch das Einbringen der Bakterien in ungleich konzentrierte Nährböden auf erstere ein mehr oder minder schädlicher Einflufs geübt worden sein müfste.

Zunächst hat man sich schon hinsichtlich der zu hohen Einschätzung eines solchen Einflusses von anderer Seite etwas skeptisch ausgelassen.

Die Frage wurde vor Jahren von H. Buchner behandelt, da man damals vermutet hatte, es möchten die bakteriziden Wirkungen des Serums vielleicht von dessen Konzentration abhängig sein.[1]) Er hat Milzbrandbazillen aus 1proz. Peptonlösung in 40proz. Zuckerlösung (mit Blut versetzt) übertragen und trotzdem eine Zunahme der Bakterienzahl nach 5¼ Stunden gefunden. Buchner meint, dafs die Wirkung ungleicher Konzentrationen, also namentlich die hemmende hoher Konzentrationen, überschätzt werde. H. Buchner und E. Voit[2]) haben Choleravibrionen in Fleischpeptongelatine (mit 30% und 40% Gelatine) in 10- und 20proz. Peptonlösung und in 10- und 20proz. Rohrzuckerlösung ausgesät und die Keimzahlen verfolgt und in den N-haltigen Nährböden überall eine starke Vermehrung schon nach 6 Stunden nachgewiesen. Nur in den Rohrzuckerlösungen starben die Choleravibrionen ab, und zwar rascher in der 20proz. Lösung als in der 10proz. Lösung.

Man könnte also zunächst die Vermutung hegen, dafs die verdünnten Lösungen eine Störung für den Lebensprozefs

1) Zentralbl. f. Bakt., VIII, 1890, Nr. 3.
2) Archiv f. Hygiene, X, S. 119.

bedeuten, etwa so wie plasmolytische Vorgänge durch sehr hohe Konzentrationen auszulösen sind, dabei wäre allenfalls an eine Benachteiligung durch zu verdünnte Lösungen zu denken. Es liefse sich vermuten, niedriges spezifisches Gewicht der Nährlösung begünstige ein frühzeitiges Absinken der Bakterien. Ich habe, was den letzten Punkt anlangt, dies nie beobachtet, soweit eben nach dem Augenschein ein Urteil in dieser Sache gefällt werden kann.

Die spezifischen Gewichte waren:

für die Konzentration	12,5	= 1,0025
» » »	25	= 1,0051
» » »	50	= 1,0114
» » »	100	= 1,034.

Morphologische Veränderungen brachte weder die Fleischextraktlösung noch entsprechende Konzentration einer Kochsalzlösung hervor.

Man kann aber durch den Versuch die vorliegende Frage leicht entscheiden, wenn man sich mittels Kochsalzzusatz Nährlösungen von gleichem spezifischen Gewicht aber wechselnden Nährwert bereitet.

Nachfolgende Tabelle gibt eine solche Reihe.

Tabelle VII.

Gleiches spez. Gewicht 1025, Dauer 8 Tage, 36°.

Konzentrat. Fleischextr.	S-Ernte	S-Ernte nach früh. Mittel
100	0,0358	0,032
50	0,0085	0,012
25	0,0045	0,004
12,5	0,0015	0,001
6,25	0,0002	0,0001

D i e R e i n e r n t e a n *S* h a t s i c h a l s o t r o t z g l e i c h e m s p e z i f i s c h e m G e w i c h t d e r N ä h r l ö s u n g n i c h t a n d e r s v e r h a l t e n , a l s w e n n d a s s p e z i f i s c h e G e w i c h t v e r s c h i e d e n g e b l i e b e n w ä r e .

Die Resultate können also durch derartige mehr zufällige Umstände gar nicht beeinflufst gewesen sein.

Wir kehren zu den eigentlichen Versuchsergebnissen zurück.

Auf Grund der Zahlen lassen sich die gestellten Fragen glatt beantworten.

Die Versuche beweisen strikte den Satz, dafs die maximalsten Ernten in gleichen Zeiten von der Konzentration der Nährlösung abhängig sind, und zwar in absolut regelmäfsiger Weise in allen Fällen.

Bei abnehmender Konzentration ist in keinem Falle eine an die gröfsere Konzentration heranreichende Bakterienmenge zu erhalten, obschon die Möglichkeit z. B. bestände, dafs bei doppelter Wachstumsgeschwindigkeit die Halbierung der Konzentration zeitweise wenigstens wett gemacht würde.

Die Konzentration ist ein Einflufs, der vom ersten Moment ab eine bestimmte fest fixierte Wirkung äufsert, über welche die biologischen Vorgänge nicht hinauszugreifen vermögen.

Die Konzentration kann möglicherweise nicht nur die Intensität der in der Kubikeinheit der Nährflüssigkeit möglichen bakteriellen Veränderung quantitativ begrenzen; es scheint mir möglich und wahrscheinlich, dafs wegen erleichterten Eindringens des Sauerstoffs in weniger dichte Lösungen qualitative Anderungen des Umsatzes eingeleitet werden.

Eine weitere wichtige Schlufsfolgerung lautet:

Die Ernten stehen stets nach gleichen Zeiten des Wachstums in bestimmtem, von der Konzentration der Nährlösung abhängigen, gleichbleibenden Verhältnis.

Daraus ergibt sich ohne weiters, dafs bei jeder Konzentration ein ähnlicher Wachstumsverlauf der Ernten existiert (s. auch Fig. S. 187). Es kann daher auch nicht der Einwand gemacht werden, dafs bei längerer Beob-

achtung das Verhältnis der maximalen Ernten ein anderes geworden wäre.[1])

Das Konstante, das die Gleichheit der Verhältnisse bedingt, ist die gleiche Zellenergie, das gesetzmäfsig Differente die Menge des Überschusses, das Hemmende und Erschöpfende der allmähliche Nahrungsmangel oder aus den Umsetzungen erfolgende Gründe oder endlich das durch den Nahrungsvorrat geförderte Verhältnis zwischen den Zellen im Nährstoffgleichgewicht und den wachsenden Zellen.

Ich habe, um jeglichen Zweifel auszuschliefsen, auch eine Versuchsreihe über den *S*-Ansatz gemacht, in der ich abwartete, bis eine spontane Klärung der Flüssigkeit eintrat. Es ist das ein Zeichen des allmählichen Erlöschens der Umsetzungen, wie mir aus meinen kalorimetrischen Untersuchungen von Bakterienkulturen bekannt ist.

Die Nährkolben blieben so lange bei 36°, bis eine vollkommen spontane Klärung eingetreten war. Nach 12 Tagen hatte sich bei Konzentrationen von 100—12,5 ein Sediment vollkommen abgesetzt, das auch ziemlich dicht und grobflockig schien. Nur bei der stärksten Verdünnung, 6,2 war auch am 15. Tage noch eine Spur einer Trübung vorhanden; der Niederschlag war ungemein feinflockig. Am 12. bzw. 15. Tage wurde die Analyse vorgenommen mit dem in nachstehender Tabelle verzeichneten Resultate.

Die analytischen Ergebnisse enthält die nachstehende Tabelle, und wenn man diese Zahlen mit den früher erhaltenen vergleicht, beweist, dafs eine solche spätere Kompensierung schlechter Ausnutzung der Nährstoffe bei weiterem Zuwarten sich durchaus nicht geltend macht.

Ein Vergleich der absoluten Reinernten an *S* ergibt folgendes:

		Mittelwert	Vorliegende Reihe
Konzentration	100	0,032	0,037
»	50	0,012	0,011

1) Wird später noch besonders bewiesen.

		Mittelwert	Vorliegende Reihe
Konzentration	25	0,004	0,005
»	12,5	0,001	0,001
»	6,2	—	0,0001.

Man könnte also eher sagen, dafs bei der stärksten Konzentration die Reinernte noch gestiegen sei; die Verdünnungen lassen eine gröfsere Ausbeute sicher erkennen.

Diese Beobachtung steht also auch im Einklang mit unserer anderweitigen Erfahrung, dafs bei niedriger Konzentration der Reinerntezuwachs schon zwischen dem 4. bis 8. Tage ein ungemein niedriger ist und eine Neigung zu steigender Tendenz des Nahrungsansatzes nicht erkennen läfst.

Damit ist auch bewiesen, dafs bei der angewandten Spezies bei spontaner Absetzung, die als ein Zeichen bereits sich abschwächender Lebensfähigkeit angesehen werden mufs, eine Änderung bezüglich der gesetzmäfsigen Beziehungen zwischen Konzentration und Ernte bzw. Lebensintensität nicht eintritt.

Meine Versuche beweisen also, dafs die Nahrungsmenge während jeder Vegetationszeit einen grofsen Einflufs auf das Wachstum ausübt. Die Ernte, d. h. die Menge des Gewachsenen, ist um so gröfser, die Geschwindigkeit der Zellenvermehrung um so bedeutender, je mehr an Nährstoffen vorhanden ist. Die Ausbeute zeigt sich bei einer Veränderung der Nahrungsmenge um das 16fache um etwa das 54fache verschieden. Die Wichtigkeit dieses einen Faktors der Ernährung tritt also ungemein in den Vordergrund. Die Ernten bleiben bei Verdünnung des Nährbodens weit hinter der durch dieselbe herbeigeführten Verminderung der Nahrungsstoffe zurück; nimmt man 0,410 g N als maximale Ernte, so hätten in der doppelten Verdünnung 0,205 gewonnen werden müssen, indes nur 0,158 geerntet werden konnten, in der vierfachen Verdünnung sollten 0,100 gefunden werden, es waren aber nur 0,050 entstanden, bei der 16fachen Verdünnung sollte 0,025 g Ernte entstehen, es waren aber nur 0,011 g N vorhanden.

Die maximalsten Ernten stehen also zwar in festem, nicht aber in proportionalem Verhältnis zur Konzentration! Wenn die Konzentrationen fallen wie

	100 : 50 : 25 : 12,5 : 6,25,
so fallen die Ernten wie	100 41 12 5 2.
Die wirkliche Ernte an N beträgt in %	82 48 40 32

statt der 100, welche gegeben sein müfsten bei voller Proportionalität.

Die Wertigkeit der Bakteriennährstoffe sinkt mit zunehmender Verdünnung. Bei Verdünnung erreicht der Anwuchs nicht die durch die Abnahme des Prozentgehalts an Nahrungswerten bedingte Gröfse, sondern die Bakterienmasse sinkt viel rascher. Die Verdünnung bedingt also in gewissem Sinne eine Art Desinfektion. Hochgradige Verdünnungen müssen gänzlichen Stillstand des Wachstums herbeiführen.

Wir haben bisher von den in den Zeiteinheiten erreichten absoluten Ernten gesprochen. Es läfst sich aber auch noch eine andere Art der Betrachtungen, welche sehr instruktiv ist, finden. In Tab. III S. 177 ist jeweils auch angegeben, wieviel in je zwei Tagen an Zuwachs hinzugekommen ist. Diese Werte erlauben noch folgende Kurven als Ausdruck der Intensität des Bakterienwachstums zu konstruieren. Die Ordinaten = der Ernte in mg, die Abszisse = den Tagen. (Siehe Fig. 2.)

Die gröfste Lebhaftigkeit des Anwuchses herrschte nur in den ersten zwei Tagen. In der weiteren Versuchszeit nimmt die Menge der neu gewachsenen Bakterien immer ab, die relative Intensität des Wachstums, bezogen auf die jeweils vorhandene Zellmasse, fällt in noch rascherem Verhältnisse. Die Kurven sind alle gleichartig.

Es ist ein bestimmtes Wachstumsgesetz zugrunde liegend, das in allen Fällen der Konzentration gleiche biologische Zustände erzeugt.

Zweifellos beruht ein Moment in der Inanspruchnahme der Nahrungsstoffe durch alle Zellen, auch solcher, die sich nicht

mehr vermehren, also in dem Überwiegen des Stoffwechsels neben dem Wachstum; es setzt sich die ganze Masse des Stoffverbrauchs ins Gleichgewicht mit den vorhandenen Nährstoffen, und hiermit sinkt die auf das Wachstum treffende Quote.

An dieses Moment kann sich weiter dann ein allgemeiner Nahrungsmangel, der überhaupt nur mehr die Lebenderhaltung, nicht aber das Wachstum erlaubt, anreihen.

Die Kurve S. 176 beweist uns, wie ungleich die Intensität des Wachstums ist, wenn man darunter die in der Zeiteinheit zum Aufbau gebrachte N-Menge oder die für gleichen N-Ansatz notwendigen Zeiten vergleicht.

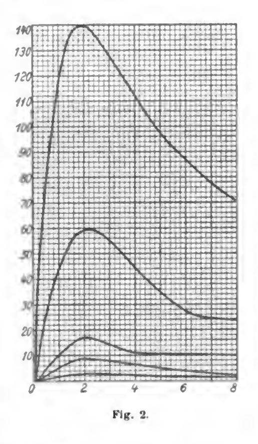


Fig. 2.

Aus Kurve S. 176 könnte man, indem man zur Abszisse Parallelen zieht, Punkte gleichen Anwuchses feststellen und die nötigen Zeiten an der Abszisse ablesen. Man kann leicht zwischen zwei nahestehenden Konzentrationen berechnen, dafs die Zeiten für gleichen absoluten Anwuchs drei-, vier-, fünfmal so grofs für die geringere Konzentration sein kann. Eine Konstante erhält man aber deshalb nicht, weil ja jede Kurve für sich aus ungleichen Teilen, einem rasch steigenden Anfangsteil und einem langsam steigenden Endteil besteht und bei der oben gewählten Vergleichsweise die Endpunkte des Ansatzes bei geringer Konzentration mit dem Anfangsteil der Kurven bei höherer Konzentration verglichen werden müssen!

Aber es folgert aus diesen Betrachtungen doch ein wichtiger Schlufs.

Aus der verschiedenen Geschwindigkeit des Ansatzes, also der Zeitdauer, die verstreicht, bis die gleiche Mehrung bei ver-

schiedenen Konzentrationen eingetreten ist, folgt von selbst, dafs bei den geringeren Konzentrationen der auf den eigentlichen Stoffwechsel treffende Stoffverbrauch gröfser sein mufs als bei den grofsen Konzentrationen mit raschem Wachstum.

Durch die Verdünnung kann man sonach den auf den eigentlichen Stoffwechsel treffenden Umsatz künstlich erhöhen.

Das würde unter Umständen eine Methodik sein, welche eine leidliche Unterscheidung zwischen dem Stoffumsatz, der wegen des Wachstums erfolgt, und dem eigentlichen Stoffwechsel ermöglicht.

Aus welchen Gründen das Wachstum schliefslich stille steht, ist aus den Ergebnissen nicht ganz unmittelbar zu entnehmen. Wenn man, wie üblich, nur die Verhältnisse des Wachstums betrachtet, so bleibt das Resultat sogar schwer zu erklären.

Nimmt man das Entstehen störender »Stoffwechselprodukte« an, wie dies gewöhnlich geschieht, so würde man etwa zu folgender Betrachtung kommen:

Gerade in den konzentrierteren Lösungen trifft auf die Menge der gewachsenen Substanz am wenigsten Flüssigkeit, und die »Stoffwechselprodukte« müfsten also hier gerade am frühesten zum Stillstand führen.

Auf 1 g N-Ernte trifft in der konzentraten Flüssigkeit am 8. Tage 1211 ccm Flüssigkeit, auf 1 g N-Ernte trifft in dem verdünntesten Nährboden am 8. Tage 45455 ccm Flüssigkeit. Aber gerade im ersten Falle war das Wachstum eben ein sehr günstiges. Im allgemeinen können also gerade in verdünnter Lösung die Menge der störenden Stoffwechselprodukte nur sehr geringfügig gewesen sein.

Man mufs aber freilich erwägen, dafs der Ansatz oder das Wachstum kein direktes Mafs der Stoffwechselprodukte gibt.

Die Stoffwechselprodukte können aus zweierlei Quellen stammen; sie können dort, wo eine Synthese von Eiweifs aus einfacherem Material nicht ausgeschlossen ist, etwa als unver-

wendbare Abfallstücke erzeugt werden, oder sie können bei den zur Erhaltung des Lebens notwendigen Umsetzungen des Protoplasmas überhaupt gebildet werden. Ich habe schon erwähnt, dafs dieser Stoffwechsel in letzterem Sinne bei schlechtem Wachstum verhältnismäfsig einen grofsen Wert annehmen kann. Aber schliefslich ist eben für die möglichen Stoffwechselprodukte das »Gewachsene« der Ansatz, die Ernte das Ausschlaggebende, und damit kommen wir über die Tatsache nicht hinweg, dafs alles in allem genommen, diese Stoffwechselprodukte in der verdünnten Lösung in allergeringster Konzentration vorhanden gewesen sein können. Man kommt also mit der so häufig gemachten Annahme, dafs die Anhäufung von Stoffwechselprodukten dem Wachstum ein Ende setzt, hier offenbar nicht aus.

Die Bakterien sind auf Kosten der im Fleischextrakt enthaltenen Substanzen entstanden. Bei der Kompliziertheit der Zusammensetzung läfst es sich nicht sagen, welche Stoffe vor allem zum Aufbau des Bakterienleibes beigetragen haben. Diese zu eruieren war weder meine Aufgabe noch Absicht. Inwieweit präformierte Substanzen dabei in Frage kommen oder ein synthetischer Aufbau, steht gleichfalls dahin. Aber es hat eine Frage immerhin weiteres Interesse, nämlich die quantitative Seite des Ansatzes mit Bezug auf das Nährmaterial. Inwieweit wird denn der Vorrat von den Bakterien ausgebeutet und verwendet? Diese Frage ist unter analogen Fällen schon öfter diskutiert worden.

In der Literatur sind einige Angaben über solch eine Verwertung der Bestandteile von Nährböden vorhanden.

Man kommt zu dem Schlufs, dafs in den verdünnten Lösungen zum mindesten, aber vielleicht auch sonst der Stillstand des Wachstums auf eine Erschöpfung des Nährmaterials zurückgeführt werden könnte. Freilich pafst der gewöhnliche Begriff der Erschöpfung in chemischem Sinne — nicht ganz auf diese Vorgänge, wie uns weitere Betrachtungen lehren werden.

Dies führt uns zu einer kurzen Besprechung der A u s n u t z u n g d e r N a h r u n g s b e s t a n d t e i l e d e r N ä h r l ö s u n g überhaupt. Aus welchen Stoffen sie bestehen, ist zurzeit unbekannt. Es

läfst sich aber wenigstens über die Gröfse des Umsatzes einiges angeben.

Arnaud und Charrin[1]) haben Bac. pyocyaneus in einer 5proz. Asparaginlösung kultiviert, wobei nach 15 Tagen 13,8 % des C zum Aufbau der Bakterien, 13,5 zu nicht flüchtigen Stoffwechselprodukten und 73,5 % zur CO_2 umgewandelt worden waren. Von N waren nur 4,66 % zum Aufbau der Bakterienleiber verwendet und 91,1 % waren zu Ammoniakverbindungen übergegangen. — Daraus ist auch zu schliefsen, dafs der Stoffwechsel weit bedeutungsvoller sein mufs als das Wachstum.

Es hätte wenig Wert, noch weitere Angaben hier anzuführen, da irgendwelche generelle, also auch für uns brauchbare Schlüsse nicht zu ziehen sind.

Aus den oben S. 173 gegebenen Originalzahlen habe ich unter Zugrundelegung des N-Gehaltes der verwendeten Fleischextraktsorten berechnet, wie weit innerhalb der verschiedenen Zeiten die Ausnutzung des Nährbodens fortgeschritten ist.

Tabelle VIII.

Serie I—IV. Im Ansatz-N ist enthalten in Prozent des Gesamt-N:

	Konzentration				
	100	50	25	12,5	6,25
8 Tage[2])	15,29	12,97	8,00	5,60	6,50
6 »	12,66	8,66	4,74	4,80	5,29
4 »	7,15	7,11	3,39	5,06	5,29
2 »	5,63	5,80	2,51	4,00	1,77

In den ersten zwei Tagen ist eine Art Latenzstadium, innerhalb welchem wohl die Plattenkultur ein allmähliches Wachstum erkennen läfst, während die Gewichtsmengen der Ernte noch sehr klein sind.

Die Ausbeuten bewegen sich am 2. Tage zwischen 2—6 %, am 4. Tage zwischen 3—7 % des vorhandenen Stickstoffs.

Am 6. Tage werden die Differenzen ausgeprägter, noch mehr zugunsten der konzentrierten Nahrung. Am 8. Tage haben

1) Compt. rend., 112, p. 755.

2) Auf die unabgeglichenen Werte gerechnet.

die Konzentrationen 100 und 50 die anderen weit überholt. Die erstere hat über doppelt so viel N von dem Vorrat ausgebeutet, als die Konzentration $^1/_{16}$.

Die Nahrungskonzentration bietet also, was die Gröfse der Ausbeute anlangt, enorme Vorteile. Die Verdünnung wirkt entwicklungsverlangsamend und hält das Bakterienwachstum nieder.

Ich bin in der Lage, die analogen Zahlen für die Ausnutzung eines anderen Elementes, des S, angeben zu können.

Tabelle IX.

Im Ansatz ist enthalten in Prozent des Gesamt-S.

	Konzentration			
	100	50	25	12,5
	0,082 S	0,0410 S	0,0205 S	0,0102 S
8 Tage	38,95 %	28,53 %	29,28 %	10,80 %

Die Werte finden sich vorstehend berechnet.

Tabelle X.

In 8 Tagen ist bei 36° Temp. im Ansatz enthalten ausgedrückt in % des Vorrats:

	Konzentration			
	100	50	25	12,5
S	38,95	28,53	29,28	10,80
N	15,29	12,07	8,00	5,60

Vergleicht man N und S, so findet man eine ungleichartige A u s b e u t u n g bei beiden Elementen, von dem S-Vorrat wird bei allen Konzentrationen ungefähr dreimal so viel im Wachstum verwertet als vom N. Dies ist leicht verständlich, wenn man die Zusammensetzung der Bakterien und des Fleischextraktes betrachtet. Im Extrakt kommt auf 1 N etwa 0,03 S, in der Bakterienmasse weit mehr. Die Nährlösung erschöpft ihren S-Vorrat demnach viel schneller als den Vorrat an nährenden N-Verbindungen. Dieser Vorgang kann natürlich entweder so verlaufen sein, dafs der Nährlösung eine Verbindung entzogen worden ist, welche S und N in anderem Verhältnis als die ursprüngliche Lösung enthielt, oder dafs die Quellen für N und S

verschiedene sind. In letzterem Falle wäre verständlich, dafs nach dem Aufzehren einer solchen Verbindung das Wachstum zum Stillstand kommen mufs, während der Stoffwechsel an und für sich nicht gleichzeitig unterbrochen zu sein braucht.

In welchem Mafse, abgesehen von dem Wachstum, anderweitige Umwandlungen des N-Materials eingetreten sind, habe ich nicht eingehender untersucht. Im Mittel einiger Fälle habe ich aber bis 20,8% der Gesamt-N der Nährlösung als Ammoniak aufgefunden, wozu noch mehrere Prozent als Verlust durch Verdunstung in Rechnung kämen. Hiernach wäre schätzungsweise einschliefslich des Ansatzes über 40% des Gesamt-N in andere N-Verbindungen übergegangen. Ich werde an anderer Stelle über diese Frage weiter berichten.

Vom S waren 38—39% zum Ansatz gelangt, ganz unberechnet einen Verlust durch Bildung von SH_2, der doch auch mehrere Prozente des Schwefelvorrates entführte.

Wenn man einen Vergleich zwischen der Ernährung im konzentrierten und dem verdünnten Nährboden anstellt, wird man kaum annehmen dürfen, dafs der Nahrungsstrom durch die Bakterienzelle der ursprünglichen Konzentration aufserhalb der Zelle entspricht. Alles spricht für eine aktive Auswahl der Stoffe, die an den Bakterienzellen vorüberströmen. Es müfsten dann auch wohl Anziehungskräfte für die Nährbestandteile vorausgesetzt werden; diese Kräfte, welche in die Ferne wirkende sind, werden zweifellos durch die räumliche Entfernung bei der Verdünnung schwieriger die Nahrungsstoffe haben heranführen können, was mit zur Erschwerung und Verlangsamung des Ansatzes geführt haben mufs. Wir lassen die nähere Bewertung dieses Momentes offen.

Das positive Ergebnis lautet, dafs gerade in den verdünnten Lösungen die Nahrungsstoffe schlechter wie von den Bakterien ausgenutzt werden. Es wäre aber auch wohl möglich, dafs solche Nahrungsstoffe, wie sie für das Wachstum nötig sind, in den verdünnteren Lösungen, für andere Zwecke der Bakterien benutzt worden sind, für den Umsatz, darüber wird die nächste Abhandlung weitere Aufklärung bringen. Anhaltspunkte hierfür haben wir auch schon oben mitgeteilt.

Energieumsatz im Leben einiger Spaltpilze.

Von

Max Rubner.

Einleitung.

Schon im Jahre 1885 habe ich bei meinen grundlegenden Versuchen über den Kraftwechsel der Säugetiere dem Gedanken Ausdruck gegeben, dafs die Gesetze des Energieverbrauchs auch für die niederen Lebewesen Anwendung finden müfsten, um so mehr als gerade sie, soweit damals etwas über deren Ernährungsprozesse bekannt war, im anaeroben Leben wesentlich auf Spaltungen von Nährstoffen und Freimachen von Spannkraft angewiesen seien. Ich habe in meinen kalorimetrischen Untersuchungen gesagt:

»So kann die prinzipielle Frage: ist der Stoffwechsel unter diesen oder jenen Bedingungen gesteigert oder nicht, niemals beantwortet werden, ohne die im Organismus zersetzten Stoffe in das Kraftmafs überzuführen, aber nicht allein für den Menschen oder die höheren Tiere ist die Kenntnis von den Kraftvorräten der zur Zersetzung gelangenden Verbindungen von Bedeutung, sondern ganz allgemein für die Organismen.

Die Bestimmung des Kraftwechsels bietet das einzige durchweg verwendbare Mafs für Lebensprozesse. Allerdings sieht man zumeist, wo energische Lebensprozesse vor sich gehen, mit diesen verbunden eine Sauerstoffzehrung eintreten. Aber es sind längst Verhältnisse bekannt geworden, welche wesentlich von diesen

Vorgängen mit Sauerstoffzehrung verschieden und doch Lebensprozesse sind.

Nach Nägelis Untersuchungen kann der freie Sauerstoff bei gewissen Pilzen entbehrt werden, wenn eine reichliche Gärtätigkeit vorhanden ist und für eine Entfernung der Gärprodukte gesorgt wird.

Diesen Lebewesen hat man zugeschrieben, dafs sie sich den O aus anderen Verbindungen, also aus chemischen Substanzen verschafften. Ich habe diesen Vorgang nicht als einen stofflichen und als einen analogen zur Respiration aufgefafst, wie damals allgemein angenommen wurde, sondern als einen Vorgang des Kraftwechsels und die Gärung in diesem Sinne der Erkenntnis der Lebenserscheinungen bei den Tieren überhaupt subsummiert.

»Diese Lebewesen erhalten also keine Spannkraft aus oxydativen Spaltungen, sondern nur durch Spaltung komplizierter Verbindungen in solche einfacherer Zusammensetzung.«

Ich habe auch darauf hingewiesen, dafs solche Spaltungen wegen des wohl geringen Wärmewertes umfangreiche Umsetzungen im Nährboden hervorrufen und zur zpezifischen Gärung werden können.

»Man begreift also auch, wie es kommen kann, dafs eine relativ geringe Menge von Lebewesen grofse Wirkungen zu entfalten imstande ist.«

»Die Gärung stellt also blofs einen speziellen Fall des Lebens dar und beweist gleichfalls, dafs allein die Kraftübertragung Quelle des Lebens ist.«

Wenn es mir auch heute kaum mehr einem Zweifel zu unterliegen scheint, dafs der Verallgemeinerung dieses Gedankens manche Schwierigkeiten, die man vor mehr als 20 Jahren kaum vermuten konnte, im Wege stehen werden, so ist doch zweifellos der energetische Standpunkt einer ernsten Prüfung wert und wie keiner sonst berufen, das Chaos verschiedener Ernährungsmöglichkeiten der Bakterien zu lichten, gerade deshalb, weil unsere Methoden, die Stoffumsetzungen selbst ins Einzelne zu verfolgen, so ganz in den Anfängen liegen.

Die Beziehungen zwischen Ansatz und Wachstum in energetischer Hinsicht.

Seitdem ich meine ersten Angaben über direkte Messung der in Bakterien entwickelten Wärme gemacht habe[1]) und die hierauf bezüglichen Methoden näher entwickelt habe[2]), sind auch von anderer Seite Beiträge zu diesem Thema geliefert worden. · So von Tangl[3]), ferner von Giuffré und Simoncini.[4])

Für die Verfolgung der mich hier interessierenden Fragen können wir zunächst von den Ergebnissen anderer Autoren absehen und uns vorläufig mit dem gestellten Problem beschäftigen.

Ich habe in den vorstehenden, das Wachstum betreffenden Versuchen vielfach auf die noch fehlende Seite unseres ernährungsphysiologischen Problems, auf den Stoffwechsel selbst, hingewiesen als ein notwendiges neben dem Wachstum oder ohne dieses verlaufendes Ereignis. Zu dieser Annahme bin ich wohl berechtigt, da ja bereits von mir vor einiger Zeit ein orientierender Versuch, den Bakterienstoffwechsel als solchen neben dem Wachstum zu bestimmen, gemacht wurde. Ich habe da zum erstenmal nachgewiesen, dafs bei einem aus Eiern gezüchteten, auf Agar besonders gut wachsenden Keim auf 5 Kal., welche im »Ansatz« stecken, 12,2 Kal. im Stoffwechsel verbraucht worden waren. Der Stoffwechsel war also 2,4 mal so bedeutend als das Wachstum.

In rohem Umrifs soll uns dieses Experiment beweisen, dafs das Sichtbare des Wachstums keineswegs für die Umwälzungen im Nährboden auch das wichtigste ist, sondern dafs weit wichtigere unsichtbare Umwandlungen erfolgen, welche die chemische Analyse wird allmählich zergliedern müssen, in deren summarische Geschehnisse aber die kalorimetrische Methode hineinleuchten kann.

---

1) Gesetze des Energieverbrauchs, 1902, S. 47.

2) Energieverbrauch im Leben der Mikroorganismen. Archiv f. Hygiene, XLVIII, S. 26 ff.

3) Beiträge zur Energetik der Ontogenese. Pflügers Archiv, XCVIII, S. 475.

4) I fenomeni termici che si manifestano nelle coltore dei mikroorganismi. Publiziert in den Lavori di Lavoratorio von Manfredi.

Die Methoden freilich sind schwierig und umständlich und die Prozesse des Stoffwechsels bei den Bakterien so aufserordentlich unvollständig bekannt, dafs ein grofser Teil der früheren Untersuchungen zur Feststellung dieser oder jener Stoffwechselprodukte, wie ich in einer späteren Arbeit zu zeigen gedenke, ganz verworfen werden müfste.

Man kann die Frage aufwerfen, ob wir berechtigt sind, die Gröfse des Defizits an Energie in einem Nährboden nach Bakterienwachstum als Ausdruck des Verbrauchs von Kraft für Lebenszwecke anzusehen. Ich habe schon vor Jahren vor einer ganz schematischen Auffassung der Kraftwechselvorgänge gewarnt und kann nur wiederholt darauf aufmerksam machen, dafs nur in bestimmten Fällen die kalorimetrische Methodik richtige Werte geben wird.

Zu wenig an Energie findet sich nach dem Experiment, wenn unkontrollierbare Energieverluste eingetreten sind — Wasserverdampfung, Gasbildung, besondere Verluste an H, CH_4 etc.: Der Kraftwechsel wird demnach leicht zu hoch eingeschätzt.

Wir müssen aber auch damit rechnen, dafs die Bakterien durch Fermentausscheidung auch Umsetzungen aufserhalb ihres Körpers einleiten können, die vielfach den Zweck haben mögen, die Nahrung zu präparieren und aufnehmbar zu machen, wir haben autolytische Vorgänge in absterbenden Organismen, Gärungen, deren biologische Funktion zum Gärungserreger unaufgeklärt sind.

Ich glaube, durch die Wahl des Keims und des Nährbodens und der sonstigen Kontrollen erhebliche Fehlerquellen der genannten Art ausgeschlossen zu haben.

Einen orientierenden Überblick über Wärmebildung bei der von mir verwendeten Kultur gab ein Versuch mit festem Nährboden:

Proteus wurde auf acht grofse Agarschalen ausgesät und bei 36° gehalten; nach 8 Tagen Versuch beendet. Der verwendete Agar wog 16,57 g trocken und hatte pro Gramm 3,570 Kal. Verbrennungswert = 59,15 Kal. im ganzen.

Nach dem Versuch fanden sich 13,14 g Agartrockensubstanz mit je 3,464 Kal. Verbrennungswärme = 45,32 Kal. im ganzen.

Somit weniger 59,15
45,52
= 13,62,

die in 8 Tagen zu Verlust gegangen waren = 23,04 % der angewendeten Energie.

Ich prüfte die Fehler der Methode, indem ich einen blinden Versuch anstellte mit sterilen Platten, sonst aber alle Manipulationen ausführte, wie sie vorher geübt worden waren.

Agar vor dem Versuch 3,537 Kal. Verbrennungswärme,
3,572 » am Ende des Versuchs.
Summe der Kal. am Anfang = 196,3
» Ende 198,7
zuviel gefunden + 1,2 %.

Die Schwierigkeit einer einigermafsen befriedigenden Abtrennung der Ernte gab Anlafs, auf eine weitere Benutzung dieses Verfahrens zu verzichten.

Die Anwendung flüssiger Nährböden hat manches für sich, vor allem das bessere ergiebigere Wachstum, die leichtere Anwendbarkeit, die günstige Ausbeute der Nährstoffe durch die Bakterien.

Die Hauptschwierigkeit besteht bei allen diesen Nährböden in den genauen Erntebestimmungen. Diese habe ich nach langen mühevollen Arbeiten durch die Ausarbeitung der Eisenfällungsmethode erzielt, die ich schon vor Jahren benutzt[1]) und in näherer Ausführung später beschrieben habe. Die nachfolgenden Experimente sind schon zur Zeit meiner damaligen Publikationen fertiggestellt gewesen, mufsten aber, da ich von anderer Arbeit zu sehr in Anspruch genommen war, vorläufig zurückgestellt werden.

Bald nach meiner Veröffentlichung dieser Methodik und einigen Mitteilungen über den Energieverbrauch der Mikroorganismen erschien eine Veröffentlichung von Tangl, welche sich auch mit kalorimetrischen Untersuchungen an Mikroben beschäftigt hat. Die von Tangl gewählte Methode bestand in der Wärmebestimmung des Nährbodens einer sterilen und besäten Nährlösung mittels Antrocknens an Papierklötzchen. Die Ernte

1) Archiv f. Hygiene, XLVIII, S. 26.

sollte dadurch festgestellt werden, dafs nach dem Wachstum der Bakterien durch ein Tonfilter filtriert und der Wärmewert der klaren Flüssigkeit erhoben wurde.

Diese Art der Methodik hat für die Erntebestimmung grofse Nachteile, weil sie eine Defizitmethode ist und aus dem Fehlen einer gewissen Menge von Kalorien in der geklärten Flüssigkeit auf den Anwuchs schliefsen mufs.

Die Mengen der Ernten sind aufserdem bei Tangl sehr klein ausgefallen, so dafs die Genauigkeit schon dieserhalb auch bei so sorgfältiger Arbeit, wie ich sie bei dem genannten Autor voraussetze, naturgemäfs keine grofse sein konnte.

Eine der Hauptschwierigkeiten der Methodik der Anwendung flüssiger Nährböden liegt überhaupt in den oft sehr kleinen Ernten, welche an die Genauigkeit der Kjeldahlschen Methode grofse Anforderungen stellen; es empfiehlt sich in der Titerstellung die allergröfste Aufmerksamkeit und die Vorsicht, ganze Reihen mit demselben Reagentienvorrat auszuführen.

Die andere Schwierigkeit liegt im Trocknen der Nährböden. Die Nährflüssigkeiten, welche durch Bakterien verändert sind, wie überhaupt die meisten Nährböden, sind sehr schwierig zu trocknen, weil aus den harzartigen Massen einerseits das Wasser schwer entweicht und anderseits die Gefahr der Zersetzung eine sehr grofse ist. Es kommt also alles auf eine gewisse Gewandtheit und auf ganz gleichmäfsige Arbeit an, um so mehr als die Mühseligkeit der Prozeduren an und für sich einem allzugrofsen Arbeitsprogramm nicht günstig ist.

In Zusätzen zu den Nährböden bleibt man, namentlich hinsichtlich der Anwendung von Zuckerarten, sehr beengt, da solche Nährböden beim Trocknen sich leicht zersetzen.

Mit wenig Ausnahmen bin ich in den nachstehenden Versuchen bei dem alkalischen Fleischextrakt als Nährmaterial geblieben. Ich berichte zuerst über die Experimente mit Proteus.

Eine gröfsere Untersuchungsreihe wurde in folgender Art ausgeführt. Von jeder Probe kamen vier Kolben à 500 ccm 6 proz. Extrakt zur Aufstellung. Je zwei dienten dazu, die Ernte zu bestimmen, indem sowohl a) der N und die Menge der Kalorien

für den Niederschlag als auch b) die Korrektur für die Eisenfällung im sterilen Extrakt erhoben wurden.

Zwei Kolben wurden zur Feststellung des Kalorienwertes benutzt. Abgedampft wurde im Vakuumapparat; dabei geht Ammoniak über, oft 1/3 des gesamten N, dies wurde in titrierter Säure aufgefangen. Trimethylamin wurde darin nicht oder wenig gefunden.[1]) Die abgedampfte Menge des Destillates entsprach in ihrem N-Gehalt dem Ammoniaksalz. Wesentliche andere Beimengungen können nicht vorhanden gewesen sein.

Der Vakuumrückstand wurde weiter getrocknet und dann die kalorimetrische Untersuchung ausgeführt.

Das sterile Extrakt wurde ebenso behandelt. Ammoniak geht kaum ins Destillat. Die präformierten Ammoniakmengen sind hier überhaupt minimal, auch wenn man mit Magnesia destilliert. Nach längerem Sterilisieren findet sich mehr Ammoniak. Der kalorische Wert dieses überdestillierten Ammoniaks wurde zu dem Kalorienwert des Nährbodens addiert.

In jedem Falle wurde auch die N-Bestimmung der Nährlösung nach dem Versuch ausgeführt und mit dem Anfangs-N-Gehalt verglichen. Immer wurde etwas weniger N nach dem Versuche gefunden; auch dieser Verlust — ein sehr unbedeutender — kam als Wärmeverlust durch NH_3 in Rechnung.

Einige kalorimetrische Zahlen mögen erwähnt sein. Die Nährlösung gibt z. B,

für 1 g Trockensubstanz	3,203	Kal.
nach der Kultur (Vakuumrückstand verschiedener Reihen)	2,996	»
	3,082	»
	3,033	»
	2,872	»

Der Wert der Eisenniederschläge ist natürlich schwankend, je nachdem man vorsichtig oder überschüssig Eisensalz zur Fällung nimmt, kann man Zahlen von 0,6—0,9 bei 3,5—3,8 Kal. pro Gramm Niederschlag erhalten.

1) Man achte auf die Zeiten! Anfänglich in den ersten Tagen läſst sich Trimethylamin nachweisen.

Die Ammoniakvakuumdestillate erreichten am 16. Tag mit 0,8—0,9 g N pro Kultur ihren höchsten Wert und sanken dann langsam durch Abdunstung aus den Kolben. Die in NH_3 umgewandelte N-Menge mufs also erheblich mehr als 0,9 N pro Kolben, d. h. mehr als ein Drittel des Gesamt-N-Gehalts betragen haben. Der Ammoniakgehalt scheint mir in diesen Fällen geradezu als bemerkenswertes Kriterium zur Beurteilung, ob die Impfung der Kulturflüssigkeit Erfolg gehabt hat oder nicht.

Zur Kontrolle wurden mehrmals die sterilen Kolben unter denselben Bedingungen stehen gelassen bzw. ebenso lange bei Brutwärme belassen wie die geimpften und dann erst analysiert. Spontane Zersetzungen des Fleischextrakts können somit nicht vorliegen.

Im allgemeinen sei auf die Niederschläge an Substanzen verschiedener Art in alten Kulturen aufmerksam gemacht Manchmal findet man dichte Sedimente von phosphorsaurer Ammoniakmagnesia. Diese müssen erst in Lösung gehen, ehe man fällt und die Ernte bestimmt.

Nach dem was ich über die Methodik vorausgeschickt habe, dürften die nachstehenden Experimente an Proteus vulgaris angestellt, wohl verständlich sein.

Tabelle I.

Tage	N-Ernte (rein)	Kalorien-Ernte	Energiewerte der Nährlös.	Energiewert nch. d. Vers.	Fehlende Kalorien = Umsatz	Umsatz + Ansatz	Ausnütz. d. Energie v. Nährb.	N-Ansatz beträgt v. ganzen Umsatz
10	0,124	3,01	87,55	75,23	12,32	15,33	17,6	19,6
16	0,095	2,62	87,55	71,04	16,51	19,13	22.0	15,8
23	0,106	3,28	87.55	64,74	22,81	26,09	29,8	12,5
31	0,085	3,18	87,55	65,39	22,16	25,34	28,9	12,6
33	0,111	4,21	87,55	64,33	23,22	27,43	31,3	15,4

Der zweite Stab der Tabelle gibt die N-Ernte, sie ist zunächst klein gegenüber den früheren Werten[1]) — wie sich aus dem Wechsel der Kultur erklärt, welche vorgenommen werden mufste. Nach einer Unterbrechung von drei Jahren waren mit

1) S. S. 173 dieses Bandes.

diesem Versuch die Experimente wieder aufgenommen worden[1]), aber die älteren so kräftig wachsenden Keime waren leider inzwischen verloren gegangen. So wurde zwar auch wieder eine Proteusspezies angewandt, aber die Ausbeute der Ernte war stets eine geringe.

Nach dem zehnten Tage war von einer Mehrung des Wachstums nicht mehr die Rede, dies stimmt gut mit den früheren Erfahrungen. Stab 3 gibt die Ernten in Kalorien, sie schwanken ähnlich wie die N-Zahlen, aber nicht ganz parallel mit diesen. Stab 4 gibt den Verbrennungswert des Fleischextrakts (500 g 6proz. Lösung) gleichbleibend für alle Versuche dieser Reihe, Stab 5 den Energiewert nach dem Versuch (= Verbrennungswert des Extraktes, der Ammoniakdestillate und des Ammoniakverlustes). Was fehlt, ist durch Umsetzungen in der Nährlösung als Wärme zu Verlust gegangen. Es frägt sich nur, ob nicht doch noch andere Substanzen als Ammoniak entwichen sind. Ich habe bei diesen Reihen nebenbei auch einige Schwefelbestimmungen gemacht, aber so wenig Verluste nachweisen können, dafs eine Rechnungsstellung des SH_2 in kalorimetrischer Hinsicht sich erledigte. In Stab 7 haben wir die Energieverluste im ganzen, und dazu noch den Ansatz an Energie im Bakterienleib.

In allen Fällen bin ich vom Verbrennungswert der Trockensubstanz ausgegangen; bei dem jetzigen Stande unseres Wissens hat es bei dieser Materie noch kein Interesse, allerkleinste Differenzen in Korrekturen anzubringen.[2])

Die Versuche lehren: durch das Bakterienwachstum hat ein erheblicher Verlust an Energie stattgefunden. Derselbe beruht zum kleinen Teil auf »Ansatz« und »Wachstum«, zum weit gröfseren Teil auf anderen chemischen Prozessen, die wir vielleicht kurzweg als »Umsatz« bezeichnen dürfen. Der Umsatz an Stoffen geht noch weiter, auch wenn kein Wachstum vorhanden ist, die

1) 1896.

2) Man könnte fordern, die »gelösten« Stoffe hinsichtlich des Energiewertes zu berechnen.

Bakterien sterben weder sofort, noch wird ihr Leben latent, auch wenn die Bedingungen des Wachstums erloschen sind. Nach der dritten Woche vom Beginn der Kultur ist eine weitere Abnahme des Energieverbrauchs nicht nachzuweisen.

Die Ernten sind aber nicht völlig abgestorben, da man bei Plattenkultur mehr oder minder zahlreiche Keime findet. Dies wird man bei Proteus auch auf anderen Nährböden finden, z. B. bei dem gewöhnlichen Peptonwasser.

Die Ernten sind seit dem zehnten Tag konstant. Die kleinen Differenzen beruhen auf Zufälligkeiten. Mit dem zehnten Tag war das Wachstum beendet, was auch mit meinen früheren Untersuchungen übereingeht.

In den ersten zehn Tagen wurden angesetzt 3,01 Kal. und aufserdem umgesetzt 13,32. Der »Stoffwechsel« oder Umsatz war also 4,4 mal so grofs als der sichtbare Wachstumseffekt.

Fast ebenso lange wie die Wachstumsperiode dauerte die Periode eines weitergehenden Stoffumsatzes, der sich in einer Einbufse an Energie ausdrückt.

In weiteren 13 Tagen stieg der Kalorienverbrauch von 13,32 Kal. auf 22,75 (Mittel des 23., 31., 33. Tages), also um 9,45 Kal. in absoluter Zahl. Diese Nachperiode von Umsetzungen »ohne Wachstum«, kann daher sehr auf Bedeutung Anspruch erheben. Denn sie macht an Umsatz 71% von jenen der Wachstumsperiode aus.

Die Kultur kommt dann in den Zustand des latenten Lebens. Obwohl für die eine Spezies alles, was verwertet werden kann, aufgezehrt ist, können andere recht üppig in diesen Flüssigkeiten gedeihen, wie man ohne weiteres sieht, wenn man die Kolben stehen läfst und einer Staubinfektion aussetzt. Es treten dann aufserordentlich mächtige Wucherungen von Bakterienmassen auf, häufig unter ziemlichem Hellwerden der Nährflüssigkeit, also unter Aufzehrung des Farbstoffs des Extrakts.

Der Ausnutzungskoeffizient der Energie kann also bei Metabiosen offenbar viel höhere Werte erreichen als bei der hier angewandten Spezies.

Da die N- und Kalorienzahlen der Ernte so wenig different sind, kann man sie alle zu einer Mittelzahl vereinigen, um von allen Zufälligkeiten frei die Werte zu erhalten. Die wesentlichen mafsgebenden Zahlen lauten dann:

Tabelle II.
Gesamtübersicht.

Periode	N-Ernte	Kalorien in Ernte	Kalorien-Umsatz	Gesamt-Kraft-wechsel	Unter-schied i. Umsatz
1.—10. Tag Wachstum u. Umsatz	0,105	3,26	12,32	15,58	12,32
11.—23. Tag Umsatz	0,105	3,26	22,81	26,07	8,49
24.—33. Tag Ruheperiode . . .	0,105	3,26	22,81	26,07	0

Die Beziehungen zwischen Umsatz und Ansatz bedürfen noch weiterer Erforschung. Umsatz und Ansatz scheinen etwas ungemein Variables zu sein, weil man stets die Willkürlichkeit der Nahrungszufuhr vor Augen hat und die Regulierbarkeit des Nahrungsüberschusses, die den Ansatz bedingt, beliebig gestalten kann.

Eine andere wichtige Frage scheint mir aber die, ob zwischen Umsatz und Ansatz beliebig abweichende Beziehungen bestehen, d. h. ob es Fälle gibt, bei denen dieselbe Nahrungszufuhr ungleichen Ansatz hervorruft.

Eine solche Differenz findet sich zweifellos in der jugendlichen und einer alten tierischen Zelle, indem erstere wenigstens beim Warmblüter eine stärkere Anziehung für Eiweifs besitzt als der ältere, wodurch Ungleichheiten in der Relation zwischen Umsatz und Wachstum entstehen.

Einen wichtigen Einflufs auf den Umsatz kann man bei den Kaltblütern durch Variierung der Körpertemperatur erzeugen. Sind hier dann stationäre Beziehungen zwischen Nahrungszufuhr Uberschufs und Ansatz vorhanden oder wechselnd?

Im Tierreich verhält es sich im Gebiete der Kaltblüter, wie ich meine, so, dafs bei jeder Temperatur dieselben Lebens-

funktionen sich äufsern können, nur ist deren Intensität, also der zeitliche Verlauf ein verschiedener. So zweifle ich nicht, dafs die Gesetze des Stoffwechsels, welche die Beziehungen zwischen Nahrungsüberschufs, Stoffwechsel und Ansatz umfassen, von der Körpertemperatur fast unabhängig sein werden.

Um die Richtigkeit dieser wichtigen Voraussetzung zu prüfen, wurden auch die nachstehenden Reihen an Proteus mit niederer Temperatur ausgeführt. (Tab. III u. IV f. S.) Die einen Proben blieben 7 Tage bei 36°, die anderen Kolben bei 14—15° im Keller und wurden nach 14, 21, 30, 37 Tagen analysiert. Die Temperatur des Raumes wurde fortlaufend mittels eines registrierenden Thermometers gemessen.

In der Methodik habe ich eine Abänderung getroffen. Man kann leicht ausrechnen, dafs die hier ausgeführten Reihen mit mindestens je 4 Kolben à 500 ccm für jede festzustellende Tatsache durch die Masse des Materials und die Ansprüche an Bruträume mancherlei Unbequemes boten. Ich habe daher folgendes versucht:

Es wird in einem Kolben mit kleinstmöglichen Eisenmengen die Ernte gefällt[1]), abzentrifugiert und abgegossen, was sehr leicht geht und die Flüssigkeit eingedampft und wie sonst verfahren. Die Gesamtverbrennungswärme ergibt sich aus Eisenfällung + Rückstand, ebenso der Gesamt-N.

Die Übereinstimmung der Methode mit der vordem geübten ergibt sich zunächst aus den Resultaten der Versuche (s. o.), IV und V; der letztere wurde nach dieser neuen Methode ausgeführt. Ferner noch aus folgendem Vergleich:

Extrakt steril nach Methode A: 83,9 Kal.
» » » » B: 84,5 »

Differenz 1 %.

1) Vorher mufs das Volumen gemessen und auf 500 aufgefüllt werden, bzw. die Alkaleszenz abgestumpft und auf bestimmte Volumen gebracht werden (600).

Die gröfsere Bequemlichkeit veranlafste mich, ganz bei dieser zweiten Methode zu bleiben.

Die Ergebnisse dieser Reihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle III.

Tag	Temp.	N-Ernte rein	Kalorien-ernte	Energie vor dem Versuch	Energie nach dem Versuch	Fehl. Kalorien = Umsatz	Umsatz + Ansatz	Ansatz betr. vom ganzen En.-Ums.	Ausbeute des Nährbod.
7	36,0	0,135	4,00	84,22	69,28	14,90	18,90	21,2 %	21,4 %
14	14,5	0,037	1,72	84,22	79,32	4,90	6,62	25,9 »	—
21	14,5	0,032	1,44	84,22	78,38	5,84	7,28	19,9 »	—
30	14,5	0,045	2,06	84,22	77,73	6,49	8,55	24,1 »	—
37	14,5	0,067	2,82	84,22	72,44	11,78	14,60	20,5 »	17,3 %

Tabelle IV.

Zeit in Tagen	36°. N-Ernte	36°. Kalorien-ernte	36°. Kalorien-umsatz	36°. Gesamt-kraft-wechsel	14,5°. N-Ernte	14,5°. Kalorien-ernte	14,5°. Kalorien-umsatz	14,5°. Gesamt-kraft-wechsel
7	0,130	4,00	14,90	18,90	—	—	—	—
10[1]	0,105	3,26	12,32	16,58	—	—	—	—
14	—	—	—	—	0,035	1,58	4,90	6,48
21	—	—	—	—	0,035	1,58	5,84	7,42
30	—	—	—	—	0,045	2,06	6,49	8,55
37					0,067	2,82	11,78	14,60

Das Wachstum war nicht sehr kräftig; bei 36° doch bleibt die Ernte nicht hinter der in dem vorigen Versuche zurück, bei 14,5° ist in den ersten 3 Wochen das Wachstum recht kümmerlich, hebt sich bis zum 37. Tag, hat aber auch dann noch nicht die Ernte erreicht, die man in 7 Tagen bei 36° erzielen kann. Ähnlich stellt sich der Verlauf des Stoffumsatzes.

Der Ansatz macht im Verhältnis zum Gesamtenergieumsatz bei 36° 21,3% aus, in der kühleren Temperatur 22,6%, was kein nennenswerter Unterschied genannt werden darf, wenn man die Möglichkeit solcher Schwankungen in Betracht zieht.

1) Versuch aus Tab. II S. 203 zum Vergleich mit aufgenommen.

Bei niederer Temperatur verläuft demnach, auch der Umsatz sehr langsam und erzielt erst in langen Perioden, was in der Wärme rasch gewonnen werden kann.

Ich komme demnach zu dem wichtigen Satze:

Umsatz und Ansatz sind in ihrem gegenseitigen Verhältnis bei sonst gleichen Zelleistungen von der Temperatur der Zelle unabhängig.

Der Gesamtenergieumsatz wie das Wachstum sind in ihrem Verhältnis aber noch durch äufsere Umstände zu beeinflussen. Die benutzte Proteussorte wuchs z. B. bei starker alkalischer Reaktion offensichtlich weniger gut als bei anderen Bedingungen. Ein quantitativer Versuch lehrte dann folgendes:

Tabelle V.

Stark alkalischer Nährboden. 400 ccm Flüssigkeit.

Tag	Temp.	N-Ernte	Kalorien-ernte	Energie vor dem Versuch	Energie nach dem Versuch	Kalorien-Umsatz	Umsatz + Ansatz	Ansatz beträgt v. Umsatz	Ausbeute des Nährbodens
9	36,5	0,037	1,76	67,6	51,85	15,8	17,6	9,6 %	26,0 %
14	11	0,035	1,49	67,6	47,85	19,8	21,3	6,7 »	32,7 »

Am 9. und 14. Tage wurde die Analyse vorgenommen; die Ernte blieb sehr gering. Man wird dabei zu berücksichtigen haben, dafs allerdings nur 400 ccm Kulturflüssigkeit verwandt wurden, also bei 500 ccm mehr an Ernte gewonnen worden wären (ca. 0,046), aber auch diese Menge bleibt noch hinter den sonst erhaltenen Werten zurück. In einem gewissen Gegensatz dazu steht die nicht ungünstige Ausnutzung des Nährbodens selbst, welche gröfser ist als die entsprechende bei den vorhergehenden Versuchen. Wenn man auch bei der geringen Erfahrung, die auf diesem Gebiete naturgemäfs zurzeit vorliegt, keine allzuweittragenden Schlüsse ziehen wird, so möchte ich doch meinen, dafs die Alkaleszenz hier einen gewissen Einflufs geübt hat. Eine rein chemische Rückwirkung auf das Nährmaterial durch die alkalische Reaktion beim Abdampfen kann nicht vorliegen, da ja, wie schon früher bemerkt, die Alkaleszenz

jedesmal durch äquivalente Mengen von Normalschwefelsäure beseitigt worden war.

Das Wachstum ist hier ein ungesundes und anormales und drückt sich auch in dem unverhältnismäfsig schwachen Anwuchs aus.

Der gesamte Stoffwechsel hat bei diesem Nährboden gelitten, doch scheint speziell der Anwuchs behindert worden zu sein; demnach wäre die Quote des letzteren unter Umständen eine variable Eigenschaft.

Der Energieverbrauch beim Wachstum im Verhältnis zum Gesamtkraftwechsel ist nachfolgend zusammengestellt:

Tabelle VI.

Der Ansatz beträgt in Prozenten des Gesamtkraftwechsels:

Zeit in Tagen	Temp.	In %	Mittel für Ansatz	Mittel für Umsatz
7	36	21,2	19,8 %	80,15 %
10	36	18,6		
14	14	25,9	22,6 %	77,4 %
21	14	19,9		
30	14	24,1		
37	14	20,5		
10	36	8,1	stark alk. Nährbod.	

Es wurde nur die eigentliche Anwuchsperiode berücksichtigt; es scheint danach, als wenn bei niedriger Temperatur sogar etwas mehr als bei hoher angesetzt worden wäre. Doch halte ich dies nicht für entschieden, weil die Versuchsperiode bei 36° am 7. bis 10. Tage bereits die Periode des gesamten Wachstums umfassen, die Versuche bei 14° aber in die erste Periode des Wachstums hineinfallen.

Eine Verwertung von 18—23% der gesamten Energie für den Ansatz ist zweifellos eine recht bedeutende Gröfse und doch wieder erst ein Mittelwert; die Maxima, die in einzelnen kürzeren Zeitabschnitten erreicht würden, mögen wohl erheblich davon abweichen.

Es wäre ein Versuch der Feststellung des Energieumsatzes der Bakterien im Vergleich mit anderen Lebewesen von hoher Bedeutung. Vorläufig vermag ich diese Frage aber nur annähernd zu lösen, da offenbar die biologischen Verhältnisse nicht, wie vorausgesetzt wurde, so einfache sind oder doch von den der differenzierten Organismen abweichen. Ich werde versuchen, die oben gewonnenen Zahlen für eine Schätzung des Kraftwechsels der Bakterien zu verwerten.

In erster Linie stellen die N-Ernten nicht immer die tatsächlich wirksamen Lebenssubstanzen dar, weil sich ja dieselben erst aus einer minimalen Einsaat = 0 zu dem gefundenen Wert einer Periode entwickelt haben.

Von Interesse wäre die Kenntnis des mittleren Wertes, die man in der Tat unter Zuhilfenahme der S. 156 gegebenen Wachstumskurven ableiten kann; er beträgt 0,558 des Endwertes einer Periode, falls das Wachstum noch in gleichmäfsigem Fortschritt sich befindet.[1])

Ein Teil N-Substanz entsprach ferner nicht immer der gleichen Menge verbrennlicher Leibessubstanz; ich finde bei 36° folgende Zahlenverhältnisse zwischen N und Kal.:

7. Tag 0,135 N : 4,00 Kal. = 1 N = 31,00 Kal. }
10. » 0,105 N : 3,26 » = 1 N = 31,05 » } 31,00 Kal. i. Mitt.,

bei 14° dagegen im Mittel der 4 Reihen:

0,045 N : 2,04 Kal. = 1 N = 45,31 Kal.

Bei niederer Temperatur hat das Protoplasma der Bakterien andere Stoffe mit eingelagert als bei hoher Temperatur; ob Kohlehydrate, ob Fette bleibe dahingestellt. Für die weitere Behandlung der Lebensvorgänge können wir vorläufig über diese Tatsache des ungleichen Aufbaues des Bakterienleibes hinweggehen.

Der Kraftwechsel für 36—37° läfst sich, bezogen auf die Ernte, in beiden folgenden Fällen angeben:

7. Tag 0,135 N-Ernte = (× 0,558) 0,0723 mittlerer Ernte.

Die mittlere Ernte ist gleichbedeutend mit der Menge lebender Substanz im Durchschnitt; die berechnete N-Menge entspricht

1) Planimetrisch zu berechnen.

einer bestimmten Menge von Bakterien, welche wirksam gewesen sind. Dabei mag ein Teil bereits »alt« geworden sein, andere finden sich im jugendlichen Zustande.

Diese Individuenmassen werden immer einem physiologischen Mittel entsprechen, wenn sie etwa einer Bevölkerungsgruppe ähnlich aufgebaut sind, d. h. Individuen aller Altersklassen umfassen.

Dieser Fall wird unter bestimmten Bedingungen gegeben sein, nämlich bei gleichem Ernährungsstadium, und als Kriterium eines solchen Stadiums habe ich im allgemeinen den Stillstand des Wachstums angesehen, weil man diesen Punkt leicht finden und sozusagen sehen kann.

Die mittlere Ernte ist, was das Lebensalter der vereinigten Individuen der Bakterienkultur anlangt, aber nicht überall gleichwertig; in den frühzeitig untersuchten finden sich viele junge Bakterien. Man darf in anderen Fällen jedoch aus dem Umstande, dafs die Bakterien nicht mehr wachsen, nicht auf ein Abgestorbensein schliefsen. Wenn sie nicht mehr wachsen können, weil es an Nahrung fehlt, sind sie keineswegs schon verändert, tot oder degeneriert. Es wird der Verlauf der Degeneration ganz von dem Konzentrationsgrade der Nährlösung bzw. ihren Nährwerten abhängig, und die später einsetzende autolytische Zerlegung wohl von besonderen Nebenumständen und Einwirkungen auf das Protoplasma der Bakterien bedingt sein.

Obiger mittleren Ernte von 0,0723 g N entsprachen 14,9 Kal. Umsatz

= 276,1 Kal. p. 1 g N und 7 Tage = **p. 1 N und 1 Tag 20,61 Kal.** (für die Reihe II).

10. Tag. 0,105 Ernte = (× 0,558) = 0,0692 g N mittlere Ernte. Dieser entsprachen 13,32 Kal. als Umsatz

= 227,1 Kal. p. 1 g N = 10 Tage **p. 1 N und 1 Tag = 22,71 Kal.** (für die Ser. I).

Am 10. Tage hatten die Bakterien sicher ihren Endpunkt des Wachstums (im quantitativen Sinne und nach wägbaren Gröfsen beurteilt) erreicht.

Sodann setzte bei gleichbleibender Ernte = 0,105 g N eine 13-tägige Periode des alleinigen Umsatzes ein mit einem Kalorienverbrauch von 9,49 Kal., demnach p. 1 g N 90,4 Kal. **p. 1 N und 1 Tag = 6,93 Kal.**

Ob die letzten Tage einen so kleinen Wert geben, weil die Bakterien zum Teil abgestorben oder nicht mehr stoffwechselfähig waren, oder nur ein Teil derselben noch Nahrung erhalten konnte, läfst sich nicht sicher entscheiden. Man darf annehmen, dafs mir auch der Gedanke nahe lag, durch die »Keimzahlen« zu prüfen, wie viel lebende Organismen vorhanden waren. Mit diesen Ergebnissen wäre aber nicht das Geringste anzufangen, da man nicht weifs, wie sich die durch längere Kultur erhaltenen Bakterien zu den zur Plattenzüchtung benutzten Böden verhalten und wir weiter weder wissen, noch bisher den Versuch des Beweises erbracht finden, für oder wider die Annahme, dafs es auch Bakterien geben kann, welche wohl noch leben aber nicht mehr wachsen können. Dann würde, wenn letzteres gegeben wäre, eine Plattenkultur gar kein brauchbares Resultat ergeben, oder viel zu wenig Keime, weil die des Wachstums entkleideten eben k e i n e Kolonien bilden.

Für die Versuche bei 14° kann man ableiten:

Für den 14. Tag, an dem zuerst mefsbare Ergebnisse erzielt wurden:

0,034 g N · (× 0,558) = 0,019 mittlere N-Ernte
bei einem Umsatz von 4,90 Kal.
demnach p. 1 N = 257,9 Kal.
u. pro 1 N u. 1 Tag = 16,93 Kal.

Dieser Wert entspricht also einer sehr frühen Periode des Wachstums, weil ja die Keime sich erst zu entwickeln begonnen hatten.

Am 37. Tag dieser Reihe fand sich:

0,067 N-Ernte (× 0,558) = 0,0374 g mittlerer Ernte
Dieser entsprach ein Umsatz von 11,78 Kal., also
pro 1 N = 314,9 Kal.
pro 1 N und 1 Tag 8,49 Kal.

Ich stelle die Werte des Umsatzes in Kal. pro

1 g N (Leibessubstanz) und 1 Tag zusammen.

Versuche bei 36°

7. Tag Reihe II	20,61 Kal.	} Wachstumsperiode	
10. » * » I	22,71 »		
10.—23. » »	6,93 Kal.	ohne Wachstum	

Versuche bei 14°

10. Tag Reihe II	16,93	} Wachstum
37. » » »	8,49	

In die letzte Zahl ist die Berechnung der ganzen Vorperiode eingeschlossen, also alle 10 Tage bzw. 37 Tage der ganzen Reihe.

Gesamtresultat:

Da 1 g N mit Eisen gefällt (= den obigen Zahlen) 1,12 frischem Bakterien-N entspricht, so ergibt sich also als Umsatz:

pro 1 g N (frische Bakteriensubstanz) und 1 Tag

bei 36°

7. Tag Reihe II	18,4 Kal.	} 19,4 Kal.
10. » » I	20,3 »	

bei 14°

10 Tag	15,1 Kal.
37 »	7,6 Kal.

Ferner hat man:

bei 36°

für den 7. Tag 0,0723 mittl. Ernte[1]) setzten pro Tag an N an 0,0193
» » 10. » 0,0692 » » » » » » » » 0,0105

bei 14°

für den 14. Tag 0,019 mittl. Ernte setzten im Tag an N an 0,0013
» » 0,037 » » » » » » » » 0,0018

In % des mittleren N-Gehalts des Bakterienleibes wurden täglich angesetzt:

in der Wärme:	in der Kälte:
7 Tage je 26,7 %	14 Tage je 6,8 %
10 » » 15,2 %	37 » je 4,9 %

1) Auf unveränderte Zellen gerechnet. Gesamtwachstum in 7 Tagen 0,135, also Tagesansatz $\frac{0,135}{7}$; ebenso sind die Werte des 10. Tages berechnet.

Der N-Ansatz ist aber, wie wir im ersten Teil unserer Darlegungen gezeigt haben, kein gleichbleibender wie wir ihn hier verrechnen, sondern ein während der ersten Lebenszeit besonders rascher, später sich verlangsamender. Hier in dieser Reihe haben wir nur das Gesamtmittel der ganzen Wachstumszeit vor uns.

Daher sind auch ungleiche Zeiten zweier Versuchsreihen, also z. B. Bruchteile der Wachstumsperiode eines Experimentes, nicht mit dem Gesamtmittel einer anderen Reihe vergleichbar. Der 14. Tag bei 14° steht im Beginn der Entwicklungsperiode, die Tage 7—10 bei 36° betreffen das völlig abgelaufene Wachstum. Selbst der 37. Tag der Reihe bei 14° steht dem Ende des Wachstums noch erheblich fern.

Da bei 36° auf 1 g N-Ansatz 31,0 Kal. und bei 14° auf 1 N-Ansatz je 45,3 Kal. treffen, so ergibt sich der Gesamtenergieverbrauch (Umsatz + Ansatz)

bei 36°

7. Tag (18,4 + 0,60) = 19,0 Kal.
10. » (20,3 + 0,32) = 20,6 Kal.

bei 14°

14. » (15,1 + 0,059) = 15,7 Kal.
37. » (7,6 + 0,08) = 7,7 Kal.

Die sich hieraus ergebenden Schlufsfolgerungen verbreiten, wenn sie auch noch einer weiteren Ergänzung an anderen Organismen bedürfen, doch schon ein klares Licht über wesentliche Grundzüge der energetischen Prozesse, die etwa wie folgt ausgedrückt werden können.

Die Gröfse des Energieumsatzes bei einer Spezies ist eine sehr wechselnde. Auf dieselbe hat in erster Linie die Temperatur des Protoplasmas bestimmenden Einflufs.

In einer sehr wichtigen Abhängigkeit steht der Energieumsatz zum Wachstum, aber nicht in dem Sinne, dafs Wachstum die Ursache des vermehrten Energieumsatzes wäre; die Ursache des letzteren liegt im Nahrungsstrom von geeigneter Beschaffenheit. Dieser regt den Umsatz an und bietet zugleich Material für das Wachstum.

Für 1 g N Leibessubstanz werden verschiedene Energiemengen umgesetzt, um so mehr, wie es scheint, je weniger verändert und entwertet die Nährlösung ist. In diese Zeit fällt aber auch das Wachstum. Ins Ungemessene steigt dieser Umsatz natürlich auch nicht, aber schon die oben gegebenen Zahlen, die keinesfalls Maximalwerte sind, entsprechen einer sehr grofsen Umsatzfähigkeit und Zerstörungskraft für Nährmaterial bei den Bakterien.

Nach Erschöpfung der Nährlösung für den Ansatz fällt der Umsatz sehr bedeutend ab, falls nicht vielleicht überhaupt um diese Zeit ein Teil der Zellen bereits zugrunde gegangen ist.[1])

Da die Bakterien vielfach mit einer lebhaften aktiven Beweglichkeit ausgerüstet sind, kann man nicht umhin, die »Arbeitsleistung« als eine Variable des Energieumsatzes mit heranzuziehen. Besonders jugendliche Organismen tragen Geifseln und sind zur Lokomotion trefflich ausgestaltet. Ich glaube daher, dafs das Moment Beweglichkeit oder Unbeweglichkeit bei dem Studium energetischer Vorgänge nicht vernachlässigt werden darf. Bei den Proteusarten spielt die Beweglichkeit eine grofse Rolle; wir sind daher wohl berechtigt, einen mehr oder minder grofsen Teil des Energieumsatzes auf Rechnung der Arbeit zu setzen. Allerdings würde die Gleichmäfsigkeit des auf den Umsatz treffenden Anteiles des Gesamtenergieumsatzes die Annahme einer mit dem »Wachstum« gleichen Schritt haltenden Bewegung als nötig erscheinen lassen. Der raschere Abfall des »Ruhekraftwechsels« würde dadurch besonders verständlich.

Die Beweglichkeit der Bakterien ist eine bei den einzelnen Bakterienarten verschiedene und ist abhängig von dem Alter, dem Nährboden, der Sporulation, der Kälte, der Wärme und von der Einwirkung von Giften. Die Bewegung der raschesten Bakterien übertrifft die der langsamen ungefähr um das Fünffache. Von 6 durch K. B. Lehmann untersuchten Bakterien war Cholera am schnellsten beweglich; dann folgte Typhus, Proteus,

1) Bakterienzählungen können hier wenig Vorteil bieten; ich habe sie mehrfach gemacht. Die Keimzahl nimmt ab, dies beweist aber nicht den Lebensverlust.

Tetanus, Subtilis, Megatherium. Die schnellsten Choleravibrionen legen ca. 18 cm in der Stunde zurück.[1])

Die energetischen Verhältnisse überhaupt wie jene des Wachstums im besonderen erweisen sich von der Nährstoffkonzentration abhängig, die maximale Leistungsfähigkeit der Zellen könnte nur unter ganz besonderen Umständen erwiesen werden. Ob in meinen Versuchen das Wachstum optimal war, kann ich nicht mit Bestimmtheit sagen, möchte es aber annehmen.

Die sehr erheblichen Schwankungen im Umsatzvermögen der Bakterienspezies, die ich eben darlegte, haben wohl auch Analoga im tierischen Stoffwechsel, auch da kann vorübergehend das Protoplasma aufserordentliche Substanzmengen verbrennen, man denke an die Muskelarbeit, namentlich an die kürzeren Akte maximaler Leistungen.

Nur gegen die Überflutung mit Nahrungsmaterial reagiert der tierische Organismus nicht in der gleichen Weise wie die Bakterienzelle, was uns kaum wundernehmen darf, da wir doch in den komplizierter gebauten Wesen im allgemeinen den Fortschritt der Organisation in der Richtung einer allmählichen Abschliefsung der Aufsenwelt von den inneren Vorgängen, durch komplizierte aber exakt funktionierende Regulationsmechanismen in die Erscheinung treten sehen.

Unsere Binnentemperatur ist von aufsen unabhängig, auch der Kaltblüter besitzt Einrichtungen zur sparsamen Verwendung des Nahrungsmaterials — die Regulation durch die Resorption, die Bildung von Reservestoffen.

Vergleich verschiedener Bakteriensorten hinsichtlich des Wachstums und Energieumsatzes.

Da die vorliegende Untersuchung die erste ihrer Art ist und zum erstenmal Angaben über den Energieumsatz der Bakterien selbst gegeben werden, war es für mich ein Bedürfnis, bei anderen Keimen Umschau zu halten, inwieweit voraussichtlich gröfsere Unterschiede im energetischen Umsatz vorhanden sein möchten.

---

1) Lehmann und Fried, Archiv f. Hygiene, XLVI, 1903, Heft 4.

Um zu vergleichenden Resultaten zu kommen, mufste ich denselben Nährboden wie sonst anwenden, was ja den Nachteil hatte, dafs ev. damit für andere erwähnte Bakterien eine Schwierigkeit des Wachstums entstehen konnte.

Vorläufig läfst sich aber, da ja die Methoden der Bakterienscheidung erst in den Anfängen sind, auf einen einfachen Nährboden nicht verzichten.

Der letztere bestand aus 6 proz. Fleischextrakt, mehr oder minder alkalisch, wie er sich eben für die einzelnen Keime eignet; nach 7—10 Tagen wurde der Versuch unterbrochen und die Analyse vorgenommen, nachdem die Kulturen auf ihre Reinheit geprüft waren.

Nachstehende Tabelle enthält alle nötigen Angaben auf Grund der Analyse.

Tabelle VII.

Art	Temp.	Tage	N-Ernte	Kalor.-Ernte	Energie vor dem Versuch	Energie nach dem Versuch	Umsatz	Umsatz + Ansatz	Ansatz beträgt v. ganzen Umsatz in %
Bact. Coli . . .	36,5	7	0,069	2,42	79,30	73,86	5,44	7,86	30,8
Thermoph. . .	56	8	0,079	4,68	87,31	73,84	13,47	18,15	24,9
Staphyl. aur. .	37	—	—	—	74,74	61,76	12,98	—	—
Pyocyan. . . .	36,5	10	0,190	6,84	81,17	62,72	18,45	24,70	27,7
Diphther. . . .	37	9	0,035	1,63	74,74	62,89	11,85	13,48	12,1
Typhus	37	9	0,042	1,30	74,74	64,86	9,88	11,18	11,6
Cholera	37	9	0,061	3,35	74,74	58,12	16,62	19,69	17,0

Die mühevollen Reihen haben viele Monate an Arbeit erfordert, die allerdings gelegentlich auch Mifserfolge zu verzeichnen hatte. Es war mir auch nicht möglich, überall das Entstehen von Gasen etwa verbrennlicher Natur genau zu verfolgen, doch glaube ich, dafs, abgesehen von geringen Verlusten von SH_2, nichts an wesentlichen Stoffen verloren wurde.

Es wäre auch wünschenswert gewesen, die Kulturen nach verschiedenen Zeiten zu analysieren, um das Maximum der Entwicklung zu erhalten, doch war es ganz unmöglich, diesem Gedanken noch Rechnung zu tragen und ohnedies der Zeitaufwand ein recht grofser. Da es sich nur um den Versuch handelt, eine

Vorstellung zu gewinnen von der Gröfsenordnung der energetischen Vorgänge, so mag man mit dem Gebotenen sich genügen lassen.

Das Allgemeinbild der Resultate ist schnell gegeben; das Wachstum war sehr ungleich, am schlechtesten bei Diphtherie, am besten bei Pyocyaneus, der fast durch seine gelatinösen Massen, die sich bei Eisenzusatz ausscheiden, für die Analyse bedenklich geworden wäre.

Bei der thermophilen Art wurde drei Wochen hindurch beobachtet und erhalten:

	N-Ernte	Kal.-Ernte	Umsatz
1. Woche	0,069	4,34	13,47
2. »	0,069	4,53	16,53
3. »	0,064	3,60	16,68.

Es ergibt sich hier dieselbe Erscheinung wie bei Proteus: Die N-Ernte steht nach der 1. Woche still und nimmt dann eher ab als zu, der Umsatz nimmt bis zur 2. Woche zu und bleibt dann auf derselben Höhe.

Auffallend ist das Verhältnis von N : Kal. = 1 : 61,7 in der Ernte, hier mufs eine eigenartige Zusammensetzung der Kultur vorliegen.

In allen Fällen, um auf obige Tabelle zurückzukommen, finden wir nach der Beendigung der Versuche einen mehr oder minder grofsen Energieverlust.

Also alle hier aufgezählten Keime haben den gleichen Typus der Lebenserscheinungen, sie brauchen Spannkräfte, um das Leben zu unterhalten.

Insbesondere mufs uns das Verhältnis zwischen Wachstum und Umsatz interessieren, die Ergebnisse sind in dem letzten Stab der Tabelle VII enthalten und zeigen, dafs Ungleichheiten zweifellos bestehen. Sie ergeben aber die wichtige Tatsache, dafs der Energieverbrauch im Wachstum bei allen Keimen erheblich hinter dem Stoffumsatz zurücktritt, dafs also das, was wir bei Proteus sahen, kein vereinzeltes, sondern ein Vorkommnis ist, das zu einer allgemeinen Gesetzmäfsigkeit gehört.

Das Minimum mit 11,6% fand sich bei Typhus, das Maximum bei Bact. Coli mit 30,8%, vielleicht liegt hierin ein Grund

für das durchweg bessere Fortkommen von Bact. Coli. Wenn das letztere so sehr günstige Ansatzverhältnisse zu erzielen vermag, wird schon hierdurch die lebhaftere Entwicklung verständlich sein.

Interessant scheint mir auch das Ergebnis bei einer thermophilen Art, die, wie vorher festgestellt, bei 56° ihr Optimum besitzt; sie fällt aus dem Rahmen der übrigen bei 37° gezüchteten Keime überhaupt nicht heraus, auch nicht in dem Werte des auf das Wachstum treffenden Energieanteiles.

Ordnet man die Spezies nach der Menge des absoluten N-Anwuchses, so erkennt man sofort, daſs die Güte des Wachstums überhaupt auch einen Einfluſs auf den Prozentsatz der Energieverteilung ausübt; wenn die Zelle nicht genug Stoff zum Ansatz findet, so steigt der relative Konsum für den eigentlichen Umsatz an. Es würde aber weit über das Ziel hinausschieſsen, wenn man nur auf das oben erwähnte Moment Gewicht legen wollte.

Aus den obigen Zahlen kann man den mittleren Umsatz an Energie pro Tag berechnen und denselben auf 1 g der Ernte an N beziehen. 1 g geernteter N entspricht nach der Eisenmethode 1,12 g der ursprünglichen frischen N-Menge. Man muſs aber vorher überlegen, daſs nicht die Endernte während der ganzen Versuchszeit wirkt, sondern die mittlere Ernte maſsgebend bleiben muſs, die man annähernd der Hälfte der Endernte gleichsetzen kann (= 0,558), wie ich schon oben auseinandersetzte.

Tabelle VIII.

	Umsatz auf 1 g N[1]) wahrer mittl. Ernte[3]) d. unveränd. Kultur	Ansatz in % d. ganz. Energieumsatzes[2])
Pyocyaneus . .	15,6	27,7
Bact. coli . . .	18,1	30,8
Proteus	19,4	19,9
Thermophil. B.	34,5	24,9
Typhus	42,8	11,6
Cholera	42,7	17,0
Diphtherie . .	60,6	12,0

1) = dem N, der in frischer Kultur vorhanden gewesen war.

2) mg obiger Tabelle S. 213, also Ansatz und Umsatz.

3) Mittlere Ernte = 0,558 der Endernte, diesen Wert × 1,12 gibt den N der frisch berechneten Kultur.

Für dieselbe Menge lebender Substanz stellt sich demnach der Energieverbrauch im Stoffwechsel wesentlich verschieden. Alle Versuche, aufser die mit den Thermophilen, sind bei derselben Temperatur angestellt. Die Leistung der letzteren ist bei dem ihnen passenden Wärmegrad nicht bedeutender als die anderer Keime. Ob die Lebensenergie bei diesen Zellen verschiedener Herkunft tatsächlich so verschieden sich gestaltet, wie die im Stoffwechsel anscheinend verbrauchte Energie, läfst sich vielleicht nicht sofort behaupten.

Die von mir untersuchte Proteusspezies stellt sich, was den Umsatz anlangt, etwa in die Mitte der Zahlenreihen für die von mir untersuchten anderen Keime.

Merkwürdig ist die Stellung der drei pathogenen Bakterien, obschon diese in dem Nährboden sehr wenig gediehen sind, ist doch der Umsatz im Verhältnis zur geringen Masse der Bakterien der gröfste gewesen.

Ich möchte nicht zu weitgehende Schlüsse aus dieser Tatsache folgern. Einmal ist zu beachten, dafs die N-Ernten sich fast ordnen wie die Umsätze, man hat nämlich:

Tabelle IX.

	N-Ernte absolut pro Tag	Umsatz pro 1 N und Tag in Kal.
Diphtherie . . .	0,0030	60,6
Typhus	0,0047	42,8
Cholera	0,0069	42,7
Bact. coli . . .	0,0094	18,1
Thermophil. B.	0,0100	34,5
Proteus	0,0105	19,4
Pyocyaneus . .	0,0190	15,6

Die pathogenen Keime hatten die schwächste Entwicklung gefunden, am wenigsten angesetzt, kleine Ernten können aber nur dann mit erheblichem Stoffumsatz verbunden sein, wenn sie in einer früheren Periode der Entwicklung beobachtet werden.

Man kommt also über die Tatsache, dafs hier besonders kräftigen Umsatz herbeiführende Organismen vorliegen, nicht

ganz hinweg. Der Unterschied zwischen Typhus und Bact. coli wäre in folgenden Zahlen auszudrücken:

	N-Ernte	Umsatz Kal.	Ansatz in % des Gesamtenergieumsatzes	Auf 1 N Ansatz Kal.
Typhus abdom.	0,0047	42,8	11,6	30,95
Bact. coli	0,0094	18,1	30,8	35,1.

Das Bact. coli ist dem Typhus an Wachstumskraft, d. h. an Ansatzfähigkeit überlegen gewesen und bildete offenbar auch leicht Reservenährstoffe, wie aus der Zahl für das Verhältnis zwischen N und Kal. im Ansatz hervorzugehen scheint. An Umsatzfähigkeit, also Zerstörungskraft, leistet aber der Typhus relativ mehr als Bact. coli. Die gröfsere Vermehrungskraft sichert aber letzterem in Konkurrenz mit Typhus die Oberhand.

Die ungleiche energetische Umsetzungsgröfse könnte auch in dem Sinne gedeutet werden, dafs die Nahrungsstoffe vollwertig und minderwertig sein können und deshalb in minderwertigen Lösungen oft mehr für den gleichen Zweck zerlegt werden müssen wie in einer guten Nährlösung.

Dagegen spricht, dafs die absoluten Leistungen gerade derjenigen Keime, welche einen grofsen Energieumsatz hatten, absolut betrachtet, grofs gewesen sind, sie haben also doch eine grofse Menge spaltbarer Stoffe vorgefunden.

Ob diese starke Zerlegungskraft mit der Befähigung krankmachend zu wirken, etwas zu tun hat, und ob diese enorme Kraft, Stoffe zu zerstören, im Kampfe mit einzelnen Zellen unseres Organismus Bedeutung besitzt, ob sie allein oder mit Toxinen zusammen von Wert ist, läfst sich heute auf Grund unserer spärlichen Kenntnisse nicht sagen.

Die Umsatzleistungen der Bakterien, soweit ich sie bis jetzt nachgewiesen habe, sind im Verhältnis zu den mittleren Leistungen der Körperzellen der Tiere sehr grofs. Das zeigt jede auch noch so approximative Rechnung. Nehmen wir für den kindlichen Kraftwechsel 91 Kal. pro 24 Stunden und 1 kg, so hätte man, da 1 kg Lebendgewicht etwa 30 N entspricht, pro 1 g N = lebende Substanz 3,03 kg Kal. an Umsatz. Noch geringer ist der Umsatz bei

dem Ausgewachsenen; er sinkt auf $^1/_3$ und weniger der vorstehenden Gröfse.

Aus den Resultaten folgt auch, dafs ein thermophiler Keim nicht notgedrungen sich von den anderen bei niedrigen Temperaturen im Energieumsatz unterscheidet, sondern dafs ein solcher Keim in seinem Umsatz auf eine höhere Temperatur eingestellt ist und bei seinem Optimum annähernd soviel leistet als andere Organismen.

Die Temperatur ist also, wie bei den Kaltblütern und Warmblütern auch bekannt, nicht die alleinige Ursache für die Leistungsfähigkeit des Protoplasmas.

Das Protoplasma hat bei verschiedenen Spezies verschiedene Aktivität zur Stoffzerlegung; wie andere bakteriologische Erfahrungen lehren, sind die Temperaturgrenzen des Optimums sogar durch »Gewöhnung« in mäfsigem Grade verschieblich.

Nachdem ich nunmehr einen Überblick über die Leistungen der Proteus- und einiger anderer Bakterien gegeben habe, fühlt man das Bedürfnis, diese Gröfsen noch näher mit den Umsetzungen bei anderen Lebewesen näher zu vergleichen.

Nehmen wir zunächst die Kaltblüter zum Vergleich. Jolyet und Regnard haben bei Cyprinus amat. pro Kilo und Stunde an O-Aufnahme in Kubikzentimetern gefunden (Hoppe-Seyler p. 578):

bei	2°	14,8 ccm
»	10°	37,8 »
»	30°	147,8 »

Wenn **1 Liter** O = 5 kg-Kal. im Durchschnitt liefert, so hätte man bei Cyprinus für 30° 0,74 kg-Kal. pro Kilo und Stunde = **17,76 pro Kilo und 24 Stunden.**

Die höchsten Werte, welche Krehl und Soetbeer[1]) bei 37° für Alligator, Rana mugiens, Uromastix, Lacerta gefunden haben, schwankten zwischen 0,4—1,5 kg-Kal. pro Kilo und Stunde.

Lacerta und Frosch gehen schnell dabei zugrunde, sie sind den hohen Temperaturen nicht angepafst; nur die Tropentiere sind zu solchen Experimenten zu gebrauchen. 0,4—0,5 kg-Kal.

1) Pflügers Archiv, LVII, S. 6.

pro 1 Stunde und Kilo dürften etwa normale Werte sein, d. h. für den Tag etwa 12,0 Kal. pro 1 kg.

Da ich nichts weiter als eine ungefähre Schätzung beabsichtige, mögen diese Zahlen genügen, leider kann man sie nicht gut auf 1 g N lebender Substanz berechnen, weil die Hautdecke eines Alligators natürlich erheblich am Gesamtgewicht beteiligt ist, aber nichts mit dem Umsatz zu tun hat.

Annähernd mag man den Umsatz der Kaltblüter pro 1 Teil N bei 34—37° auf etwa 0,4—0,6 kg-Kal. pro 24 Stunden schätzen.

Bei kleinen Hunden fand ich pro Kilo und 24 Stunden bis 96 kg-Kal. als Umsatz und bei weifsen Mäusen im Hungerzustande bei einem absoluten Lebendgewicht von etwa 18 g 212,0 kg-Kal. als Verbrauch. Noch weit höhere Zahlen würde man aus Regnaults Versuchen für die kleinen Vögel erhalten. Letztere Angaben sind aber unzweifelhaft nicht richtig. Ein Grünfinke soll pro 1 kg und Stunde bis zu 14,1 g O aufnehmen, das wäre an kg-Kal. $14{,}1 \times 3{,}24 = 45{,}7$ für den Tag $\times 24 = 1096$ kg-Kal. pro Kilo und 24 Stunden. Das wäre also etwa fünfmal so hoch als der Energieumsatz einer etwa gleich schweren Maus. Solche Unterschiede bestehen aber nicht zwischen Säugetier und Vogel, wie ich vor vielen Jahren schon dargetan habe.

Die Angaben decken sich auch nicht mit denen von Pott, der allerdings nur die CO_2-Exhalation gemessen hat. Pott fand für einen Kanarienvogel von 17 g pro Kilo und Stunde 9,1 g CO_2-Ausscheidung = 218,4 g CO_2 für den Tag, was rund 616 kg-Kal. entspricht.

Ja auch dieser Wert dürfte im allgemeinen zu hoch sein, wenn er für Ruhe des Tieres und mäfsige Kost genommen werden soll. Die kleinen Mäusesorten Potts[1]) würden bei 18,9 g mittleren Körpergewichts etwa 6,56 g CO_2 pro 1 kg Lebendgewicht[2]) liefern, schätzungsweise 443,8 kg-Kal. (= 157,4 g-Kal.) pro 1 kg und 24 Stunden.

1) Landwirtschaftl. Versuchsstation, XVIII, S. 81.

2) Die Werte für die weifse Maus beiseite gelassen. Meine Zahlen für hungernde Tiere sind wesentlich kleiner.

Die Versuche an Sperlingen mit 24,0 g Lebendgewicht entsprachen 7,5 g CO_2 pro 1 Stunde = 180,0 CO_2, pro 24 Stunden = 508 kg-Kal. pro 1 kg und 24 Stunden.

Dies sind die gröfsten täglichen Durchschnittsleistungen, welche man vom Warmblüterprotoplasma kennt; sie werden von anderen tierischen Leistungen nicht erreicht.

Die angeführten Zahlen sind Mittelwerte und annähernd Ruhewerte; die einzelnen Zellgruppen im Organismus leisten zeitweilig erheblich mehr, wie z. B. der Muskel bei rascher Zuckung und starker Belastung. Dabei kann ein Vielfaches der mittleren Leistung als Umsatz erzielt werden.

Im mittelfetten Tierleib treffen auf 100 frische Substanz 2,92 g N; berechnete ich die Umsätze, die oben angegeben sind, auf 1 g Teil N unter der Voraussetzung, dafs dies dann gleichen Mengen lebender Substanz gleichkomme, so hat man

	pro 1 N und 24 Stunden an kg-Kal.:	
beim Hund	3,28	
bei der Maus	8,41	(Hungerversuch)[1]
verschiedenen Mäusearten	15,19	(nach Pott)
Sperlingen	17,4	(nach Pott)
den Kaltblütern . . .	0,4—0,6	(nach Krehl und Soetbeer und Jolyard.)

Die vorliegenden Werte lassen sich noch nicht genau mit dem Bakterienumsatz vergleichen, weil ja diese Organismen im Zustande des Wachstums gewesen sind, während die Werte für den tierischen Stoffwechsel dem Ruhezustand und den ausgewachsenen Tieren entnommen sind.

Nun weifs man, dafs tatsächlich zum Wachstum ein gewisses Mehr an Nahrungsstoff gehört, für den Ansatz selbst und für die Zunahme des Kraftwechsels. Solche Korrekturen können aber eine wesentliche Verschiebung der Zahlen nicht herbeiführen.

Die saprophytischen Bakterien sind in ihrer energetischen Umsetzung also wohl fast allen tierischen Zellen überlegen; am sichersten können wir dies vom Proteus sagen, der ausreichend untersucht ist, und zwar um so bestimmter, als ich ja nur die mittlere Leistung der Bakterien gemessen habe und messen konnte.

1) Etwas zu niedrig, weil die Leibestemperatur sinkt.

Zweifellos wird zur Zeit des lebhaftesten Wachstums der Zellen, wenn noch überreichlich Nährmaterial vorhanden ist, weit mehr zerlegt bzw. angesetzt werden können.

Das lebende Protoplasma verschiedener Lebewesen hat nach allem was wir wissen, keine einheitliche Zersetzungsgröfse und Zersetzungskraft und gleichbleibende Zersetzungstemperatur, wie die Vergleiche verschiedener Spezies und namentlich die Unterschiede zwischen Kalt- und Warmblüter beweisen. Auch die Veränderungen im Lebenslauf der Organismen, die mit dem Wachstum einhergehenden Änderungen der Zersetzungsgröfse sprechen dafür.

Das Protoplasma bewahrt in sich die wunderbare Kraft des Aufbaus, daneben aber sind die Ansprüche desselben an die Energiezufuhr im Optimum der Lebensbedingungen bei verschiedenen Spezies variabel. Ungenügend erscheint die Energiezufuhr in dem einen Fall, ja sie tötet, wo im andern dieselbe Gröfse hinreicht, alle Lebensfunktionen zu erfüllen. Sind einmal aber die Zellen auf eine bestimmte Umsetzungsgröfse eingestellt, so darf nicht eine Energie fehlen, ohne dafs bei länger dauernder ungenügender Zufuhr der Tod eintritt. Es erscheint mir die Annahme durchaus zulässig, dafs wir es in der organischen Welt und in dem Wesen der lebenden Substanz mit ursprünglich gleichartigen Erscheinungen zu tun hatten, nämlich mit Protoplasmamaterial von hoher Zersetzungskraft, das befähigt ist, sich zu ernähren sei es mit vollwertigem Material, sei es mit Bruchstücken höher konstituierter Stoffe und das eben für alle diese Stoffe eine Anziehung besitzt.

Die Ungleichheiten in den Temperaturverhältnissen der Optima verschiedener Spezies sind nur dadurch möglich, dafs sich verschiedene Eiweifsstoffe im Protoplasma ersetzen können. So können bei allmählicher Angewöhnung von Organismen mit niedrigem Optimum an höhere Wärmegrade die bei 50—55° koagulierbaren Anteile ausgeschieden werden, ja es ist möglich, dafs die Thermophilen überhaupt den wesentlichen charakteristischeren Teil des lebenden Protoplasmas darstellen und die »Akkommodation« an die höhere Temperatur nur die Abtrennung anderer, durch die Hitze leicht zu schädigender Begleitstoffe bedeutet. Der ungleiche Gerinnungspunkt von Eiweifsstoffen der Zelle bringt offenbar zum Ausdruck,

dafs diese Körper, die sich diesbezüglich verschieden verhalten, es offenbar auch hinsichtlich sonstiger Zerlegungen und Zellfunktionen sein können. Die Rolle der Thermophilen, wie die Verschiedenheiten der Optima, wären also verständlich, sie setzen Eiweifsstoffe von ganz verschiedener Beschaffenheit voraus.

Das was lebt und was wenigstens den Umsatz macht, scheint nichts gleichartiges zu sein, weil ja ganz offenkundige Ungleichartigkeiten der Zellbeschaffenheit vorhanden sind. Es gibt Zellen, welche bei 30° getötet werden, und andere, die bei 60° lebhaft tätig sind.

Man könnte, da mit dem Leben doch eine gewisse Kontinuität durch alle Lebewesen verknüpft ist, aber auch annehmen, dafs die Gruppe im Protoplasma für das Wachstum und jene für die Belebung von Nahrungseiweifs (vielleicht vollzieht auch erstere beide Funktionen), den gleichbleibenden Grundstock der einzelligen Wesen bilden, der sich dann durch Angliederung anderer Eiweifsgruppen komplettieren und differenzieren könnte, ohne dafs diese den wahren Lebensfunktionen vorständen.[1]) Für jede langdauernd gleichmäfsig erhaltene Temperatur würden zweifellos nur gewisse Eiweifsstoffe durch Angliederung ein Optimum der Lebenserhaltung bieten, und mit der Änderung der Aufsenbedingungen sich auch der chemische Aufbau ändern müssen.

Dies ist schliefslich nicht so wunderbar. Denn es gilt gerade für die hier in Frage stehenden Organismen der Satz, wie der Leib, so die Nahrung, wenn Bakterien nur bei 50, 60, 70° wachsen, dann finden diese selbstverständlich auch in ihrer Umgebung nur solch hitzebeständiges, träges Eiweifs vor, und es wird uns schon durch diesen Umstand die Eigenartigkeit des Aufbaues verständlich.

Während das Protoplasma einer Zelle durch vorübergehende Erwärmung und Abkühlung in seinen Leistungen erhöht und herabgesetzt wird, hat diese Möglichkeit ihre ganz bestimmten Grenzen, das Substrat dieser Umsetzungen wird durch Überschreitung einer bestimmten Grenze vernichtet (Maximum).

1) Die durch Erwärmung erfolgte Koagulierung solcher angegliederter Eiweifsstoffe könnte recht wohl auch die Lebensgrenze für die Zelle bedingen.

Die Ausbildung der verschiedenen Optima aber ist ein ganz anderer Prozefs, das Optimum scheint ein Punkt annähernd gleichartiger Zellleistungen zu sein, wie auch die absolute Temperaturhöhe dieser Optima verschieden sein mag.

Dies mufs innerlich mit den Umsetzungsmöglichkeiten im lebenden Eiweifs zusammenhängen, mit der Belebung des toten Nahrungsmaterials erhält es gleichartige Eigenschaften, die es innerhalb einer bestimmten Temperaturgrenze zu lebhaften Schwingungen befähigen.

Diese Umsetzungen selbst, welche eingeleitet werden, müssen für die Intakterhaltung des Zellprotoplasmas von Wichtigkeit sein. Das Optimum ist jener Temperaturgrad der Umsetzungen, bei welchem die durch die Umsetzungen des Nahrungsmaterials erregten Veränderungen (Wärmebildungen) eine maximale Gröfse erreichen und die Gefahr der Schädigung (Überwärmung) eben noch vermeiden. Das Optimum liegt immer nahe dem Maximum, die Koagulationsgrenze und die Grenze des Wärmetodes bedingt offenbar die Zellleistungen nach oben hin.

Sind höhere Temperaturgrade zu ertragen, so müssen andere Eiweifsmoleküle in den Lebensverband eingestellt werden.

Die Umwandlung in lebendes Eiweifs mufs demnach die chemische Natur der Eiweifsstoffe vielleicht nicht völlig umwälzen und verändern, so wunderbar auch die Rolle des lebenden Eiweifses ist.

Den Tierzellen gegenüber sind immer noch die mittleren Umsätze der Bakterien sehr hoch. Im Zustand ihres energischsten Wachstums sind sie zweifellos allen tierischen Zellen erheblich überlegen.

Die Organisation zu mehrzelligen Wesen, wie bei den Tieren, scheint namentlich das Grundziel zu verfolgen, die ökonomische Seite des Stoffverbrauchs zu verbessern, die grofsen Schwankungen im Zellleben zu limitieren, durch die Eingrenzung des Wachstums auf gewisse Zeiten die Erhaltung der ausgewachsenen Formen zu ermöglichen.

Durch die Bildung eines geschlossenen Körperverbandes mufsten die Zellen, indem sie beim Warmblüter auf ein dem Maximum der Lebenserhaltung nahe Optimum der Temperatur

gebracht wurden, in ihrer Umsetzungskraft gedämpft werden, was offenbar entweder durch die Neubildung wesentlich weniger leistungsfähiger Molekularverbände geschieht, oder durch andere die Zersetzung hemmende Einflüsse.

Die Zellen, die der Fortpflanzung zu dienen haben, sind wahrscheinlich die mit der ursprünglichen ungeheuerlichen Umsetzungskraft ausgestatteten Molekularverbände, welche aus dem Körper gesammelt, konzentriert und nach aufsen gestofsen werden, um einem neuen Wesen die Grundlagen zu geben, und diese unverwüstliche Neubildungs- und Umsetzungskraft den Nachkommen zu vermitteln.

Für die Konkurrenz zwischen thierischen Zellen und pflanzlichen Parasiten wird die Spaltungs- und Vermehrungskraft der letzteren ein wichtiges Kampfmittel sein.

Ich kehre noch kurz zu den objektiven Angaben zurück.

An dieser Stelle möchte ich auf die Versuche Tangls eingehen; sein Nährboden bestand aus Peptonbouillon (1 proz. Pepton), sie wurde neutralisiert, sterilisiert, infiziert und Milzbrand, Schweinepest und Bact. subtilis ausgesäet und dann bei 37—38° im Brutschrank belassen, schliefslich in der früher angegebenen Weise analysiert.

Das Gesamtresultat war eine Abnahme des Energiegehaltes aller Nährböden (nachstehend in Prozenten ausgedrückt):

	Nach 7 Tg.	nach 14 Tg.	nach 27 Tg.
Milzbrand	6,1	8,5	29,8
Schweinepest	9,1	10,2	25,9
Subtilis	16,2	19,9	23,7.

Also bis $^1/_4$ des Energieinhalts wurde aufgezehrt. Ähnliche Zahlen hatte ich oben für einen ganz anderen Nährboden gefunden.

Leider sind die Erntebestimmungen bei Tangl nur indirekt gemacht und daher etwas unsicher.

Die als Versuchsreihe III aufgeführte Reihe ist vollständig und läfst sich einigermafsen auf meine Darstellungsweise umrechnen. Die Zeitdauer dieser Experimente war 20 Tage, zweifellos waren es also schon alte Kulturen, in denen das maximalste Wachstum vielleicht schon nach acht Tagen eingetreten war.

Tangl gibt an als Verbrennungswert der Ernte bei:

Milzbrand	1,10 Kal.
Schweinepest	1,30 »
Subtilis	1,62 »

Daraus kann ich die Menge der Bakterien berechnen, wenn man pro 1 g Trockensubstanz der Bakterien 4,7 Kal. nach meinen Bestimmungen annimmt. 100 g Trockenbakterien liefern rund 11,4% N. Die N-Ernte läfst sich also auch schätzen, ferner wissen wir nach S. 297, dafs die mittlere Ernte rund 0,56% der Endernte voll entwickelter Kulturen entspricht. So komme ich zu folgenden Zahlen:

	N-Ernte	Umsatz pro Tag
Milzbrand	0,026	0,057 kg/Kal.
Schweinepest	0,032	0,101 »
Subtilis	0,036	0,138 »

weiter:

	Die mittlere N-Ernte	Umsatz p. Tg.	p. 1 g N Umsatz p. Tg.
Milzbrand	0,014	0,057	4,0 kg/Kal.
Schweinepest	0,018	0,151	8,4 »
Subtilis	0,020	0,138	6,9 »

Bei analoger Rechnungsweise würde ich für Proteus finden für die 2—3 tägige Reihe:

Mittlere Ernte	pro Tag	pro 1 N Umsatz
0,07	0,99 kg/Kal.	14,1.

Meine Zahl würde also erheblich den Wert der höchsten von Tangl überschreiten, der Vergleich ist aber hauptsächlich deswegen unsicher, weil die Ernte nicht direkt bestimmt wurde und eine N-Zahl für die Tanglsche Reihe nur unsicher sich angeben läfst. Da sich die Ernten überhaupt nur in mg N bewegen, machen sich leicht erhebliche Fehler geltend.

Aufserdem dürfte bei Tangl, der nur 100 ccm Kulturflüssigkeit anwandte, überhaupt schon viel frühzeitiger ein Stillstand des Wachstums eingetreten sein als bei meinen Experimenten, in denen 500 ccm zur Verwendung kamen, vielleicht war schon nach wenigen Tagen das Maximum bei Tangl erreicht.

Giuffré und Simoncini erwähnen bei ihren Versuchen nur, dafs sie mit meinem Kalorimeter gearbeitet und je 1 l Nähr-

flüssigkeit untersucht haben; die Mitteilung ist nur eine vorläufige. Sie geben an, dafs sie bei manchen Kulturen eine Wärmeabsorption gesehen haben, bei anderen eine Mehrproduktion. Man wird wohl auf die Endergebnisse warten müssen, ehe man zu einer Beurteilung dieser Resultate schreiten kann.

Direkte Kalorimetrie.

Bei den grofsen Schwierigkeiten, welche sich für die erstmalige quantitative Feststellung des Wärmehaushalts der Bakterien ergeben, habe ich auch noch auf dem Wege der direkten Kalorimetrie mich über die in Frage kommenden Gröfsen der Wärmebildung zu unterrichten gesucht.

Die Methode selbst habe ich schon früher ausführlich beschrieben. Die Bakterien werden in dem Kalorimeter bei Brutwärme gelassen und der Wärmezuwachs der Lösung genau festgestellt. Natürlich konnten alle Vorteile dieser Technik nicht sofort verwendet werden, erst allmählich gelang es, die befriedigenden Ergebnisse zu erzielen[1]).

Die Wärme wird gemessen durch die absolute Temperaturzunahme der Flüssigkeit mal dem Wasserwert der Lösung und des Kalorimeters, ferner aus der dem Temperaturüberschufs entsprechenden Wärmeabgabe des Kalorimeters, das eingehend geeicht sein mufs.

Die Methode hat den grofsen Vorteil, dafs sie uns jederzeit ein getreues Bild der jeweiligen Wärmeerzeugung liefert. Wir sehen den ganzen Verlauf der energetischen Verhältnisse in der graphischen Darstellung der Temperatur des Kalorimeters vor unserem Auge vorüberziehen. In allen Fällen findet man nach der Einsaat der Bakterien eine mehr oder minder lang dauernde Latenz der Wirkung, wahrscheinlich gewöhnen sich die Organismen erst allmählich an die neuen Lebensbedingungen. Die Latenzperiode dauert oft $^1/_2$ Tag, selbst 1 Tag, bei einfacher Infektion mit einer »Öse« auch noch länger.

Ich habe die Methodik in ausgedehntem Mafse zur Untersuchung der Wärmeentwicklung bei der Alkoholgärung verwendet

1) Die nachstehenden Experimente sind 1901 von mir ausgeführt worden.

und dortselbst bereits einige solcher Kurven für den Verlauf der Wärmeerzeugung bei der Gärung gegeben.

Ist einmal die Latenz überwunden, so beginnt der Wärmeanstieg sehr kräftig zu werden und rasch sich zu entwickeln.

Es wird am überzeugendsten sein, wenn ich an ein paar Beispielen die energetische Arbeitsleistung der Bakterien vorführe.

So will ich auch hier für das Bakterienmaterial zunächst einen Überblick über den ganzen Wärmegang, also der Umsetzungen geben, die in einer Nährflüssigkeit vor sich gehen.

In Fig. 1 sind 8 Versuche typisch ausgewählt, um die Varianten zu erläutern.

Wir fassen zunächst die Harnfäulnis ins Auge; auf S. 230 Fig. 1 gibt den Verlauf. Der mit ein paar Kubikzentimeter faulen Harns versetzte frische zeigte nach einer längeren Inkubation ein rasches Ansteigen der Wärme. Der Gipfelpunkt war bald überschritten; am dritten Tage war keine Wärmeentwicklung mehr vorhanden.

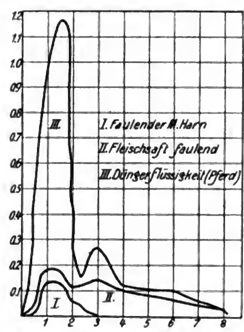
250 g Schabefleisch werden mit Wasser ausgelaugt und auf 250 ccm Volumen gebracht, der Fleischsaft kommt roh, wie er ist, ins Kalorimeter. Fig. 2. Auch hier war eine längere Inkubation, die Fäulnis aber nachhaltender. Als am 8. Tage das Experiment unterbrochen wurde, war jedoch fast die Wärmeerzeugung erloschen.

Als weiteres typisches Bild nehme ich die Wärmebildung in der Jauche, die von einem Pferdedüngerhaufen stammt. Fig. 3. Die Inkubation war relativ kurz; der Wärmeanstieg für Bakterienverhältnisse »enorm«; dann folgt ein ebenso gewaltiger Sturz, nochmals eine kleine, bei den anderen Experimenten auch angedeutete Erhebung, und der Abfall. Ich habe ähnliches auch in anderen Proben solcher Düngerwasser gesehen. Offenbar sind hier manche Nähreinheiten vorhanden, welche für die in kühler Temperatur vegetierenden Bakterien nicht passen, die aber dann im Kalorimeter bei 36° von den geeigneten Spezies rasch angegriffen werden konnten.

Hinsichtlich der zweigipfeligen Kurven bemerke ich, dafs kleine Erhebungen meist mit vorherigem Entweichen von

Gasen (CO_2) und Wiederansammeln solcher zusammenhängen können.

In Fig. 4 ist ein Gemisch von 148 g gemischten Menschenkots und 444 g Wasser verwendet worden, Fig. 5 eine Wiederholung mit anderem Kotmaterial. Hierbei ist die lange Inkubation interessant. Ich hatte im Falle 4 schon daran gedacht, den Versuch abzubrechen, weil sich gar keine Wärmewirkung zeigen wollte. Man mufs annehmen, dafs die Kotbakterien, bzw. einige Spezies, sich erst den neuen Bedingungen des Lebens anpassen müssen, ehe sie voll zur Tätigkeit kommen. Geringfügige Wachstumsprozesse,



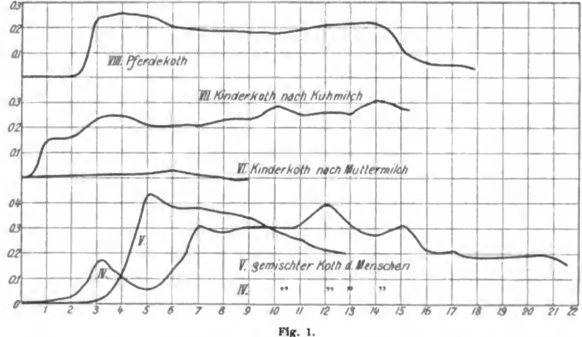


Fig. 1.

welche man mit Bakterienzählungen recht gut wird verfolgen können, mögen natürlich schon etwas früher beginnen, aber ihr thermischer Wert ist zu unbedeutend.

Ein typischer Unterschied war zwischen Kinderkot bei Kuhmilchkost und Muttermilchnahrung gegeben. Bei

letzterer Fig. 6 liegt eine völlig ausgegorene Masse vor, welche kaum meſsbare Wärme produziert. Die Kuhmilchnahrung hinterläſst — auch ohne pathologische Vorgänge — reichlich weiterfaulendes Material.

Die Pferdeexkremente, Fig. 8, zeigen erst eine langdauernde Inkubation, dann eine reichliche und lang sich hinziehende Wärmeerzeugung. Im allgemeinen sind diese gestreckten Kurven nicht ein Ausdruck für gleichartige Umsetzungen der Nährstoffe durch eine bestimmte Spezies, als vielmehr Erscheinungen einer Metabiose. Wenn eine Bakterienspezies zu Ende gekommen ist, reiht sich eine zweite an; die Metabiose leistet das, was in unserem Organismus die Differenzierung der Organe vollbringt, einen recht vollkommenen Abbau und eine weitgehende Ausnutzung der Energievorräte organischer Stoffe.

Die Bilder des Bakterienlebens, die uns die Wärmeproduktion zu entwerfen gestattet, geben uns eine Vorstellung der mannigfaltigen Leistungen dieser Organismen.

Neben den Lebensvorgängen hat man in den letzten Jahren auch bei Tieren gewisse Umsetzungen, welche nach dem Tode eintreten — autolytische Veränderungen — kennen gelernt. Mit gewissen Modifikationen sieht man sie auch bei Bakterien, wo dann auch die Nachwirkungen von Fermenten in Frage kommen.

Ich habe die autolytischen Vorgänge an zwei Organen, Muskel und Leber, auf eine etwaige Wärmebildung untersucht.

200 g frisches Organ wurden mit 200 g Sand zerrieben, 50 g Infusorienerde zugesetzt und dann bei 300 Atm. ausgepreſst. Der erhaltene Saft (100 ccm) wurde auf 250 ccm gebracht, Toluol zugegeben und die Mischung ins Kalorimeter gebracht.

Der erste Versuch fiel positiv aus, die Leber gab mehr Wärme als der Muskel. (Siehe Fig. 2, S. 232.)

Weit günstiger verlief die Wiederholung des Versuchs. Hier dauerte bei der Leber die Wärmebildung 3 Tage, beim Muskel 2 Tage, und zwar wurde erzielt:

I.	bei der Leber	0,531 Kal.	= 0,143 Kal.	pro Tag,
II.	» » Muskel	0,082 »	= 0,041 »	» ».

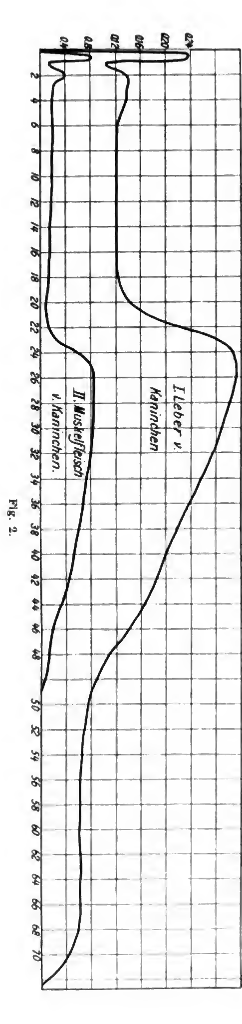
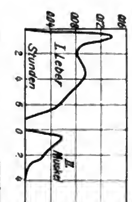


Fig. 2.



Der Umsatz bei der Leber macht pro Kilo Substanz und Tag nur 0,715 Kal. aus, was mit Rücksicht auf die Lebensleistungen der Zellen minimal erscheint. Vielleicht werden aber noch höhere Werte bei anderweitigen Wiederholungen der Versuche aufzufinden sein. Für meine weiteren Zwecke kann ich mich dabei bescheiden, die Wärme zum ersten Male quantitativ bestimmt zu haben.

Ich gehe nun zu den kalorimetrischen Messungen bei Bakterien über.

Bei Anwendung von Reinkulturen mufste ich mich bald überzeugen, dafs es sich nicht empfiehlt, von einfachen Impfungen mit einer Öse auszugehen, weil sich sonst gemeinhin das Inkubationsstadium lange hinzieht; vielmehr habe ich zunächst direkt Kulturen in wägbaren Mengen zugesetzt.

Ein Versuch wurde zunächst mit Prodigiosus angestellt. Dies war der erste nach dieser Methode ausgeführte.

Prodigiosus von Kartoffel wurde in der Reibschale mit der Nährlösung emulsioniert und dann annähernd mit der Temperatur des Kalorimeters in letzteres gebracht.

In 24 Std. erreichte das Kalorimeter + 0,13° und blieb im Durchschnitt so,
In 48 Std. erreichte das Kalorimeter + 0,05° im Durchschnitt,
» 87 » » » » + 0,04° » »

Die Wärmebildung gab eine rasch ansteigende Kurve, dann sinkt die Wärme wieder ab.

Nach der planimetrischen Ausmessung und Bewertung der ganzen Kurve waren in 5 Tagen 0,310 Kal. abgegeben werden. Die stärkste Leistung von

0,92 g Prodigiosuskultur war 0,00634 Kal. p. Std.
pro 1 g . . . . 0,0068 » » »
= 0,163 » » Tag.

Die Genauigkeit der Versuche läfst sich weitersteigern, wenn wir gröfsere Kulturgefäfse anwenden und mehr Substanz zur Einsaat benutzen können. Ich habe daher die kleinen 60 ccm fassenden Kalorimeter verlassen und solche mit 250 ccm Inhalt angewendet, es spielen dann kleine Zufälligkeiten eine geringe Rolle.

Die Konstanten der Wärmeabgabe zweier Kalorimeter dieser Gröfse, geprüft mit der elektrischen Methode und mittels Abkühlung nach dem Einbringen warmen Wassers, unter Berücksichtigung des Wasserwertes der Gläser, der Füllung des Thermometers usw., ergaben pro Stunde:

A = 0,052 Kal. p. 1° Temperaturüberschufs im Mittel
B = 0,057 » » 1° » » »

In den gröfseren Gefäfsen erhalten wir natürlich mehr Wirkung, weil ja die Einheit der Nährflüssigkeit stets eine maximale Leistungsfähigkeit besitzt. Wenn 500 ccm Nährflüssigkeit 0,100 g Bakterien N ernähren, so haben 250 ccm nur die halbe Wirkung und ein Gefäfs mit 60 ccm nur $^1/_8$.

Drei Versuche wurden mit Bact. coli angestellt.

Ein Experiment mit 0,445 g frischer Bact. coli-Kartoffelkultur in 250 ccm 6proz. Peptonlösung ergab folgende Resultate:

Die Flüssigkeit hatte 5 ccm Sesamöl als Abschlufs, die Zerlegung war also eine anaerobe.

Am 11. Okt. war die Mischung eingebracht, am 12. Okt. 11 Uhr vorm. war noch kein Wärmezuwachs zu erkennen. Aber schon nach $^1/_2$8 Uhr abends war der Temperaturzuwachs sehr mächtig $= + 0{,}15^0$ und erreichte im Verlauf des 13. Okt. das Maximum, sank dann rasch ab und hielt sich bis zum 20. Okt. auf sehr geringer Höhe. Ein Tropfen Sublimat, der am 20. Okt. abends 8 Uhr zugegeben wurde, liefs die Wärmebildung auf 0 absinken. Am besten wird man den Gang der Wärmebildung an nachstehender Kurve ersehen.

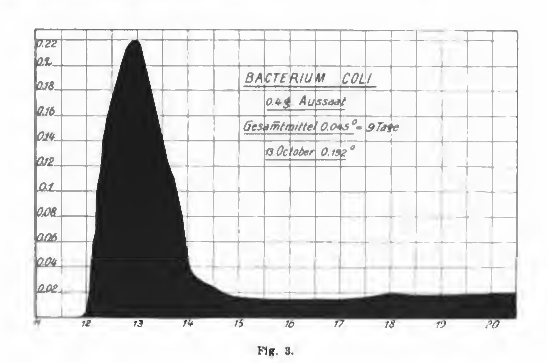


Fig. 3.

Wir hatten also hier ein Inkubationsstadium, in dem wahrscheinlich erst eine Akkommodation der Kultur an die neuen Ernährungsbedingungen stattfand, dann ein Maximum der Wärmebildung von kurzer Dauer und ein langsames Abklingen der Wärme.

Ich habe bis jetzt überhaupt kaum »Wärmekurven« gesehen, welche bei Reinheit der Kultur nicht den eben dargestellten Verlauf wenigstens insofern bieten, dafs sie stets rasch einem Maximum zueilen und dann sofort wieder abfallen. Dies entspricht auch den früher gegebenen Wachstumskurven (S. Arch. f. Hygiene, LVII, S. 277).

Die Hauptleistung der Bakterien war mit dem 13. Okt. abgelaufen; die nähere Berechnung ihrer Leistung läfst sich folgendermafsen ableiten:

Vom 12. Okt. abends 8 Uhr bis morgens 13. Okt. 8 Uhr stieg die Wärme von + 0,16° bis 0,220°, also um 0,06°. Die entwickelte Wärme setzt sich zusammen aus dieser Wärmezunahme des Kalorimeters und dem Wärmeverlust.

Die im Kalorimeter durch dessen Erwärmung aufgespeicherte Wärme war 264,5 (= Wasserwert des Kalorimeters inkl. Peptonlösung und Ol) × 0,06° = 0,016 Kal., und der Wärmeverlust durch Abkühlung = 0,191° · 0,052 = 0,00993 Kal. pro 1 Stunde.

Für 12 Std. 0,00993 · 12 = 0,1192
dazu für Erwärmung . . 0,016

Summe 0,135 Kal. p. 12 Std.
= 0,270 » » 24 »

Für den 13. Okt. sank die Temperatur
von 0,225
auf 0,170
um 0,055°.

Die Wärmebildung war also um 264,5 · 0,055 = 0,015 Kal. in dieser Periode zu grofs berechnet, denn die abgegebene Wärme stammte nicht von den Bakterien allein, sondern von dem Vorrat der zu berechnenden Abgabe von 0,192 · 0,052 = 0,00998 Kal. pro 1 Stunde

= 0,1198 p. 12 Std.
davon ab 0,0150 » 12 »
0,1048 p. 12 Std.
= 0,2096 » 24 »

Die Wärmebildung im Anstieg war also
I 0,270 Kal. p. 24 Std.
II 0,210 » » 24 »

bei 37,5° Wärme der Kultur = 0,44 g Einsaat, pro 1 g Einsaat 0,627 Kal. pro Tag (Maximum).

Was sich hier in der Kultur vollzogen und so rasch die Tätigkeit der Bakterien zum Stillstand gebracht, läfst sich schwer

sagen. Von Aufzehrung des Nährmaterials kann keine Rede sein; kaum ein paar Prozente des Nahrungsvorrates sind aufgebraucht.

Die eingebrachten Bakterien waren aber immerhin reichlich 0,44 g, entsprachen etwa 0,05 g N pro 250 ccm = 0,1 g N pro 500 ccm Nährlösung, während sonst nur 0,039 mittlere Ernte in 7 Tagen, allerdings bei Fleischextrakt, erhalten wurden.

250 Nährlösung geben hier zur Zeit der eigentlichen Wirkung 0,24 Kal. im Mittel, dazu kommen allerdings noch Verluste durch Verdunstung kleiner Mengen Wasser, Kohlensäure und etwas SH_2. Rechnet man die Leistung auf 500 ccm Nährlösung, so haben wir etwa 0,48 Kal. pro Tag, für 7 Tage etwa 3,5 Kal., während Bact. coli in Versuch s. S. 215 5,3 Kal. als Energieverlust gegeben hatte.

Ein weiterer Versuch wurde mit Bact. coli unter schwacher Lufterneuerung ausgeführt. 2,411 g 10 Tage alte Kartoffelkultur in 250 ccm 6 proz. alkalischer Peptonlösung kamen zur Anwendung. Am 23. Okt. 1901 12 Uhr mittags wurde infiziert und der Versuch begann. Am 24. Okt. 8 Uhr früh war schon + 0,184° erreicht. Das Maximum kam am 25. Okt. nachm. mit 0,310° Wärmeüberschufs im Bakterienkalorimeter. Dann klang die Wärme erst rasch, später langsamer ab. Am 5. Nov. wurde bei 0,04° Wärmeüberschufs der Versuch unterbrochen. Das Kalorimeter war stets stark getrübt, stark auch noch am Schlusse des Versuchs, der Bodensatz nicht bedeutend, die Flüssigkeit hatte käseartigen Geruch.

Die Luftdurchleitung war intermittierend, ein paarmal im Tag durchgeführt. Die abziehende Luft wurde in konzentrierter Schwefelsäure getrocknet. Im ganzen betrug der Wasserverlust des Gärkalorimeters nur 0,034 g = 0,022 Kal. Wärmeverlust für die ganze Reihe. Es ging etwas SH_2 in eine Quecksilberzyanidvorlage über. Der Kohlensäuregehalt der austretenden Luft war sehr gering und blieben also Schwefelwasserstoff und Kohlensäure im wesentlichen in der Flüssigkeit.

Der Kohlensäuregehalt der Nährflüssigkeit

nach dem Versuch war	43,0 mg
vor » » . .	3,0 »
also mehr	40,0 mg

pro 10 ccm Nährflüssigkeit = 1,09 g CO_2 pro 250 ccm Flüssigkeit in dem ganzen Versuch.

Wenn man auf Grund der vorliegenden Untersuchung eine Gesamtbilanz der Wärmeproduktion aufstellen will, so mifst man zuerst die Kurven planimetrisch und rechnet daraus das Temperaturmittel (0,161).

Dann hat man als Wärmeverlust

$0{,}161 \cdot 0{,}052 \cdot 24 \cdot 14 =$	2,813	Kal.
Schlufswärme 0,04 (0,04 · 256,5) . . .	0,0102	»
Wasserverlust 0,238 g (0,238 · 0,6) . .	0,1428	»
Luftdurchleitung 5 l[1]	0,0003	Kal.
Abgegebene CO_2 = 0,041 g[2]	0,0052	»
Summe	2,971	Kal.

Es fehlt in dieser Aufstellung nur die Angabe über den thermischen Verlust durch den SH_2, der qualitativ wenigstens in der durchgeleiteten Luft nachgewiesen wurde, aber leider nicht bestimmt werden konnte.

Nach einigen direkten Versuchen darf man bei einem Liter gärender Proteusmasse den SH_2-Verlust nicht höher als 0,0046 bis 0,0054 annehmen.

Das macht im höchsten Fall für diese thermischen Prozesse

$$\begin{array}{r} 16{,}03. \\ +\ 0{,}7 \\ \hline 16{,}73 \text{ g-Kal.} \end{array}$$

Die Nebenprozesse, die ohne nähere chemische Analyse nicht bestimmbar sind, machen, wie oben gezeigt, nur 5% der kalorimetrisch feststellbaren Wärme aus.

Die Ausnutzung des Nährbodens war sehr mäfsig, denn der Energiewert der Lösung war für 6% Pepton = 15,0 g pro 250 (bei 90% Trockensubstanz 4,94 Kal. · 15) = 74,1 Kal. Davon fehlen also nur 2,97 Kal. = 4,0%.

---

1) 1 l nimmt auf 0,306 g-Kal. pro 1°, also 5 l 5 × 0,306 × 0,161 = 0,31 g-Kal.

2) 1 g CO_2 Lösungswärme (44 : 5600 g-Kal.) 127,3; s. Naumann, S. 345.

In der ziemlich kräftigen Nährlösung hemmen offenbar sehr bald Stoffwechselprodukte die weitere energische Tätigkeit der Bakterien.

Die stärkste Leistung wurde am dritten Tag mit + 0,297° erzielt. Diese Zahl als Anhaltspunkt genommen, würde pro Tag 0,331 Kal. ergeben haben = 2,41 g Bakterienkultur, also pro Gramm 0,137 Kal. im Tag (Maximum).

Rührt nun die ganze Gröfse der Wärmeproduktion von Vorgängen her, die in der Zelle selbst abgelaufen sind? Gewifs nicht. Es ist sicher, dafs bei der Spaltung der Nahrung auch eine vorbereitende Tätigkeit aufserhalb der Zelle verlaufen wird. Es sei in dieser Beziehung an die Invertierung des Rohrzuckers bei der Hefe erinnert.

Auch andere Anhaltspunkte für ähnliche Zerlegungen kennen wir.

Durch Untersuchungen, die in meinem Laboratorium im Gange sind, ist nachgewiesen worden, dafs manches Spaltungsprodukt, das bisher den Bakterien im engeren Sinne zugewiesen wurde, auch ohne ihre Lebenstätigkeit entstehen kann.

Ich habe auf das Einleiten von Luft niemals eine Zunahme der Wärme beobachtet, dies ist begreiflich, wenn man erwägt, dafs die durchgeleitete Luftmenge 100 ccm selten überschritt (= 0,009 Kal.), wohl aber bemerkte ich die Erscheinung, dafs einige Zeit nachher die Temperatur stieg, z. B.:

56 ccm Luft durchgeleitet	0,22°	Temperaturüberschufs,	
3 Stunden später . . .	0,23°	»	
146 ccm Luft durchgeleitet	0,300°	»	hält sich so,
3 Stunden später . . .	0,310°	»	usw.

Ein analoger Versuch, wie der eben geschilderte, wurde mit Bact. coli ausgeführt, die eingeimpfte Kartoffelkultur wog aber 5,65 g; er begann am 5. Nov. 1900 und endigte am 19. Nov. Nach 15 Stunden, vom Beginn des Versuchs ab gerechnet, waren schon 0,29° Zuwachs vorhanden, nach dem 7. Nov. fiel die

Wärmeentwicklung rasch ab, noch am 19. Nov. waren + 0,07° Überschufs.[1])

Die nachfolgende Kurve, S. 240, gibt das beste Bild.

Alle Versuche zeigen den gleichen Verlauf, kurze Latenz, dann rasches Steigen aber auch baldiges Absinken der mittleren Wärmemenge von + 0,136° pro 14 Tage.

Die Berechnung ergibt:

Gesamtwärme pro 14 Tage .	2,550 Kal.
Enderwärmung + 0,07 · 256,5	0,0182 »
Wasserverlust 0,240 g . . .	0,1440 »
	2,712 Kal.

An Kohlensäure waren in 10 ccm 39,6 — 3 = 38,6 mg = 0,965 pro 250 ccm vorhanden.

Für 500 ccm Flüssigkeit haben wir hier 5,94 Kal. erhalten. Mehr an Energie scheint tatsächlich nicht ausnutzbar gewesen zu sein.

Die stärkste Wirkung war + 0,30°, was 0,317 Kal. pro Tag entspricht.

Die Gröfse des ganzen Umsatzes kommt auch hier über 2,7 Kal. pro 74 Kal. des angewandten Nährbodens, wie oben im vorhergehenden Versuch s. S. 237, nicht hinaus. Meine Absicht, durch den gewöhnlich als »besser« angesehenen Peptonnährboden etwas zu erreichen, wurde leider nicht zur Tat.

In den beiden letzten Versuchen stimmen die Zahlen für die Wärmebildung von Bact. coli in 250 ccm Nährboden fast überein.

2,97 Kal.
und 2,71 »

Die ausgesäte Bakterienmasse war aber sehr ungleich, 2,41 g und 5,655 g.

---

1) Man könnte hier kurzweg die Annahme machen, dafs der Aufnahme des O entsprechend auch Wärme erzeugt worden ist, und dafs die Korrektur für die CO_2-Verdunstung als kompensierend wegfallen könne. Man wird aber am besten nicht weiter umständliche Rechnungen in einer Sache machen, die ohnehin erst in den Anfängen der Aufklärung steht.

Dies beweist, dafs in der Tat in dieser Nährlösung nicht mehr umzusetzen war, als umgesetzt worden ist; nachdem eine bestimmte Menge von Stoffen angegriffen war, versagte der Nährboden.

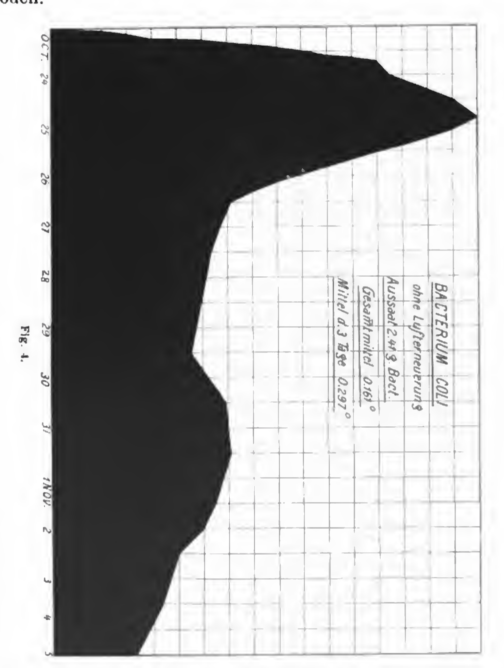


Fig. 4.

Wie viel Bakterienmasse aber wirksam war, kann niemand sagen; man sieht nur das eine, es mögen etwa dieselben Verhältnisse Platz gegriffen haben wie bei dem Extraktnährboden; wenn eine ähnliche Ernte angenommen wird, dann entsprächen diese Zahlen hier mit den bei Eisenfällung gewonnenen anscheinend gut.

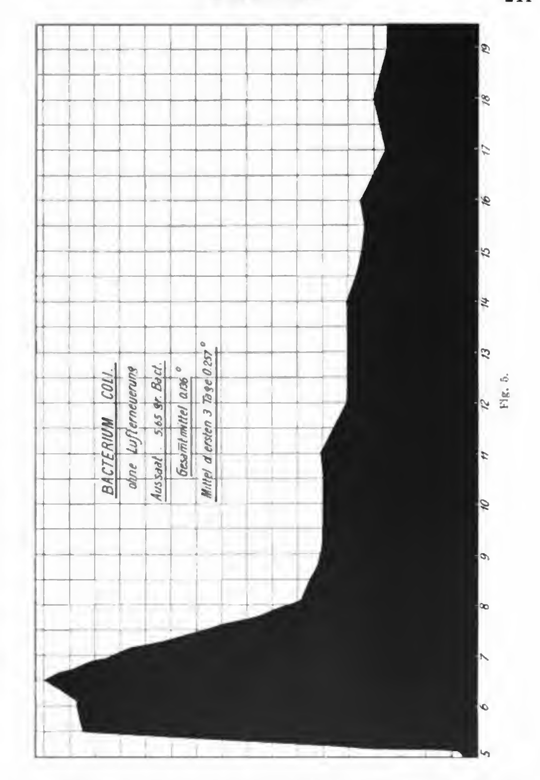


Fig. 5.

Der Bakterienumsatz verläuft also, soweit bis jetzt ersichtlich, stets in der Form einer steil ansteigenden Kurve, deren Form von dem Nahrungsvorrat bei gleicher Konzentration abhängig war. Gleiche Aussaat vorausgesetzt, findet sich das Gleichgewicht später bei

grofsen Kulturgefäfsen wie bei kleinen. Die Konzentration ihrerseits bedingt, wie wir früher gesehen haben, keinen Unterschied der allgemeinen Eigenschaften der Kurven, wohl aber Höhenunterschiede und Länge.

Für Proteus vulgaris habe ich in 6proz. Fleischextrakt eine Versuchsreihe in einem kleinen Kalorimeter mit 60 ccm Inhalt unter Anwendung von 0,5 g einer Kartoffelkultur angestellt.

Den Verlauf des Versuchs gibt nachstehende Fig. 6.

Die Temperaturzuwüchse waren sehr beträchtlich, im Mittel

1. Tag + 0,39
2. » + 0,65
3. » + 0,81
4. » + 0,75.

Nach dem 4. Tag wurde der Versuch abgebrochen. 1° Temperaturüberschufs dieses Kalorimeters entsprach 0,044 Kal. pro 1 Stunde, der Wasserwert des Kalorimeters + Füllung war = 73,7 g-Kal. Somit ergibt sich als Tageswärme:

	Wärmeabgabe		Erwärmung od. Abkühlung d. Kalorimeters	Summe
1. Tag	0,413	Kilo-Kal.	+ 0,029	0,442
2. »	0,686	»	+ 0,016	0,702
3. »	0,856	»	+ 0,012	0,868
4. »	0,792	»	— 0,004	0,788

Gesamtsumme der 4 Tage = 2,800 kg-Kal.

Der Kalorienwert müfste noch um die sonstigen Verluste (Gase) vermehrt werden; ich habe diese aber hier nicht näher bestimmt. Wasserverlust war so gut wie ganz ausgeschlossen, somit kann die davon ableitbare Korrektur nur ein Minimum betragen haben.

Der Kalorienwert von 60 ccm 6proz. Fleischextrakts entspricht 18,24 kg-Kal., somit sind 15,25% (= 2,80 kg-Kal.) verbraucht worden = 4 Tage Bakterienwachstum.

Wenn dies die Leistung von 60 ccm ist, so würden 250 ccm Nährlösung rund 11,55 kg-Kal. umgesetzt haben, falls diese Umrechnung zutreffend sein sollte.

Die früheren Reihen gaben für 7—10 Tage 13,3—15,9 kg-Kal., dies kann also wohl vereinbar sein mit dem hier erhaltenen Ergebnis.

Die Übereinstimmung zwischen beiden Methoden wird immer befriedigend sein, solange nicht erheblich flüchtige Produkte entstehen und solange beim Trocknen der Niederschläge solche flüchtige Körper von höherem Verbrennungswert nicht entweichen.

Man wird aber für Fälle, die man nicht näher kennt, eine nähere Untersuchung in dieser Richtung nicht versäumen dürfen.

Jedenfalls bleibt die thermische Methode die genauere gegenüber der kalorimetrischen Untersuchung der Nährböden.

Einen Vergleich des Energieumsatzes beider Methoden habe ich bei Milch ausgeführt.

Einen Versuch, den ich später anführen will, kann ich übrigens als Beweis ansehen, dafs die Bestimmung der Verbrennungswärme des Nährbodens und die direkte Kalorimetrie in diesem Falle befriedigend zusammengeht.

Ich habe Milch vor und nach einem Versuch direkt kalorimetrisch geprüft, ev. im Kalorimeter untersucht und gefunden.

Fig. 6.

Verbrennungsmethode liefert . .	2,61 kg-Kal.
Kalorimeterzahl	2,36 »

Die Ursache der Differenz liegt offenbar in einer Verdunstung, etwa von Milchsäure und Essigsäure oder dergl., bei der Trocknung. Derartige Vorkommnisse mögen aber sonst manchmal wohl einen gröfseren Umfang annehmen.

Über spontane Wärmebildung in Kuhmilch und die Milchsäuregärung.

Von

Max Rubner.

Einleitung.

Nach den verschiedenen Angaben, welche ich in der vorhergehenden Arbeit über den Energieverbrauch im Leben der Mikroorganismen habe machen können, ergibt sich von selbst die weitere Annahme, dafs bei bakteriellen Prozessen es sich wohl meist um Wärmebildung als Begleiterscheinung wird handeln können.

Gewifs will ich damit nicht ein für alle Spaltpilze gültiges Gesetz aussprechen, wir wissen ja schon, dafs es manche Spaltpilze gibt, welche, mit Farbstoffen, die dem Chlorophyll nahestehen, begabt, Energie des Sonnenlichts aufspeichern und Synthesen zu vollziehen vermögen.

Die Zahl der Spezies, welche nach dem Typus des Stoffabbaues ihren Umsatz regeln, stehen im Verhältnis zur ganzen Mafse anders gearteter Spaltpilze weit voraus.

Wenn man zunächst noch nach solchen Prozessen Umschau hält, bei denen die Wärmequellen reichlicher fliefsen, so sind dies die eigentlichen mit dem Namen Gärungen belegten Prozesse, welche durch die Massenhaftigkeit der Produkte und die äufserlich sichtbaren Veränderungen schon frühzeitig das Interesse zum Studium erweckt haben.

Besonders geeignet hat sich die Alkoholgärung in dieser Hinsicht erwiesen.

Vor einiger Zeit habe ich über Untersuchungen betreffs der Umsetzungswärme bei der Alkoholgärung berichtet und die Gröſse der letzteren genau bestimmt, was für die weitere Erkenntnis der Lebensvorgänge von Wert sein wird. Denn gerade die letzteren in ihrer Beziehung zur Fermentwirkung zu schildern, wird weiteren Forschungen, über die ich demnächst berichten zu können glaube, vorbehalten bleiben.

Die Veränderungen der Milch bei der Säuerung sind schon lange als eine besondere Gärung aufgefaſst worden.

Diese Auffassung hat in der bakteriologischen Ära durch das Auffinden der Säureerreger seine endgültige Fundierung gefunden. So ist man gewöhnt, die Veränderungen der Milch nach dem Melken kurzweg als Milchsäuregärung zu benennen, an die sich dann bei übermäſsig langer Aufbewahrung der Milch die Fäulnis anschlieſst. Jedenfalls ist Milch der günstigste Nährboden für die Milchsäurebildner, weit besser als die sonstigen anzuwendenden Medien.

Nach alledem könnte man vermuten, daſs die Milch wohl auch spontan Wärme bildet, weil eine Gärung in ihr verläuft.

Diesen Versuch, eine durch Gärung bedingte Wärmebildung in der Milch aufzufinden und zu messen, sollte der Zweck der nachstehenden Experimente sein.

Ehe wir im einzelnen näher hierauf eingehen, seien einige Bemerkungen über die Kenntnisse der Milchsäuregärung, die ja den Hauptinhalt der Umwandlungen darstellt, hier angefügt.

Die Milchsäuregärung ist viel unvollkommener bekannt als die Alkoholgärung. Während man bei der Alkoholgärung die Wärmebildung schon lange kannte, fehlt es für die Vorgänge in der gärenden Milch an jeder Unterlage. Auch sonst sind viele Lücken in der Erkenntnis des Gärungsablaufs selbst vorhanden.

Was die chemischen Grundlagen anlangt, so hat man früher allgemein die Gärungsmilchsäure als das alleinige Produkt dieser Art angesehen. Die Untersuchungen Thierfelders und Günthers, die in meinem Laboratorium ausgeführt worden

sind, hatten gezeigt, dafs die ältere, einfache Anschauung des Auftretens von optisch inaktiver Milchsäure nicht richtig waren.

Auch die Gärungserreger selbst unterliegen offenbar manchen Schwankungen in ihrem Vorkommen.

Man meint, dafs zur Milchsäuregärung Sauerstoff notwendig sei, er kräftige die Organismen.

Aus 100 Teilen umgesetzten Milchzucker entstehen etwa 83% in der Form von Milchsäure, 1/3% als Essigsäure.

Die Milchsäuregärung soll nach der Formel verlaufen:

$C_6H_{12}O_6$ (Traubenzucker gelöst) $= 2\ C_3H_6O_3$ (gelöst) $+ 20{,}0$ Kal.[1])

oder

$C_{12}H_{24}O_{12}$ (Michzucker gelöst) $= 4\ C_3H_6O_3$ (gelöst) $= 1363{,}7$ g-Kal.

$- 4 \times 329{,}5 = \underline{1318{,}0}$

44,7

pro 1 g Traubenzucker 0,111 kg-Kal.

pro 1 g Milchzucker ($C_{12}H_{24}O_{12}$) $= 0{,}130$ kg-Kal.

Ich habe die Gärungswärme bei der alkoholischen Gärung des Rohrzuckers für 1 Molekül auf

51,13 kg-Kal. bei CO_2 als Gas[2])

und 72,4 » » » absorbiert bestimmt.

Demnach würde die Milchsäuerung ceteris paribus 1/2 bis 1/3 soviel Wärme liefern müssen als die Alkoholgärung. Man mufs aber wohl zugeben, dafs die blofs errechnete Wärmebildung zweifellos bei der Milchsäuregärung keine sehr hochgradige Genauigkeit besitzen dürfte, da man die Gärungsgleichung kaum so sicher wie jene der Zuckeralkoholgärung kennt.

Wenn man a priori die beiden Gärungen vergleicht, so hat die Milchsäuregärung gegenüber der alkoholischen zweifellos weit weniger Stürmisches an sich, was aber mit den quantitativen Verhältnissen der Zerlegungsgröfsen zusammenhängen könnte. Denn die Milchsäuregärung endet mit weniger als einer Umwandlung von 1 bis 2 g Zucker in Säure, während die alkoholische Gärung mehr als das Zehnfache zu leisten in der Lage ist.

---

1) Berthelot, Chaleur animal, p. 66.

2) Archiv f. Hygiene, XLIX, S. 396.

Die Milchsäurebildung hört bei 45,4° auf[1]); sie erreicht ein Ende, wenn 1,6% Milchsäure vorhanden ist. Die freiwillige Gerinnung erfolgt bei 0,67—0,72% Milchsäuregehalt[2]), bei 100° bei 0,25—0,29% Milchsäure. Die Bestimmung der Säure geschieht am besten durch Alkali und Phenolphthalein.[3]) Nach Richet wird der Säuregehalt von 1,6% nach wochenlangem Stehen nicht überschritten. Gekochte Milch, mit einigen Tropfen Sauermilch versetzt, entwickelt durchschnittlich nur die Hälfte der Säure, welche unter normalen Verhältnissen gebildet wird.

E. Buchner und J. Meisenheimer haben, ähnlich wie für die Darstellung des Alkoholgärungsferments, für die Milchsäurebakterien durch Einbringen der letzteren in Aceton ein Dauerpräparat hergestellt, welches, ohne lebende Zellen zu enthalten, den Milchzucker in Milchsäure umwandelt[4]). Ähnliches berichtet R. O. Herzog[5]). Wir hätten also auch hier ein abtrennbares, überlebendes Ferment.

Allgemeiner Gang und Nachweis einer Spontanerwärmung der Milch.

Nach diesen allgemeinen Erörterungen möchte ich über die Ergebnisse meiner Versuche berichten. Zeigt also die Milch im Verlaufe ihrer spontanen Veränderung überhaupt die Erscheinung der Wärmebildung?

Der Versuch hatte zunächst nur die Aufgabe, die Tatsache und Gröfse einer solchen Wärmebildung festzustellen. Die letztere wird, wie die Säuerung selbst, von der Temperatur abhängig sein, ich habe daher den Kalorimeterraum auf **37,5°** gestellt und dabei die thermischen Messungen vorgenommen. Diese Temperatur wurde in allen nachfolgenden Experimenten beibehalten.

Ein solcher Versuch wurde am 19. XI. 1900 um 12 Uhr 30 Min. bei 37,5° begonnen und zeigte schon um 3 Uhr 30 Min. + 0,05°

1) Stohmann, Die Milch, S. 35.
2) Soxhlet, Chem. Zentralbl., 1887, S. 229.
3) Stohmann, S. 324.
4) Ber. XXXVI, S. 634.
5) Zeitschr. f. physiol. Chemie, XXXVII, S. 381.

Wärmezuwachs; um 8 Uhr abends begann die Gerinnung bei + 0,27° und war 11 Uhr 30 Min. nachts mit + 0,61° Überschufs vollendet. Am nächsten Tag hielt sich die Wärmeproduktion auf + 0,6°, stieg dann noch viel weiter an, am 22. IX. auf + 1,2° und hielt sich bis 1. XII. auf + 1,06 tagelang konstant. Der Versuch wurde unterbrochen und das Kalorimeter gewogen[1]). Die Milch ist stark sauer, riecht hefeartig. Die Wärmekurve für 3 Tage zeigt nebenstehendes Bild (Fig. 1 S. 249).

Die Sauerstoffzufuhr war durch eine Ölschicht abgeschlossen. Auch diese Bedingung wurde in allen Versuchen benutzt, wenn nicht anders gesagt wird. Die Milch zeigt also bei 37,5° eine kräftige Wärmebildung, wenigstens wenn man letztere zu den sonstigen Wärmewerten bei Bakterienwachstum in Parallele stellt. Ich darf gleich hinzufügen, dafs ich späterhin auch bei anderen Versuchen diese Wärmeerzeugung nie vermifst habe.

Die Latenz der Wärmebildung zu Anfang des Versuchs betrug kaum 2 Stunden, dann folgte ein Steigen der Wärmeerzeugung, weiter ein kurzer Stillstand.

Um die Übersicht zu erleichtern, gebe ich nachstehende einfach ausgezogene Kurve, Figur 1, die sich auf die Wärmeerzeugung der ersten 12 Stunden erstreckt, also auf den ersten Tag der in Schwarzdruck gegebenen Übersichtskurve. Die Gerinnung liegt noch im ansteigenden Teil der Kurve. Für den oberflächlichen Beobachter ist mit dem Prozefs der Gerinnung der Prozefs der Umwandlungen abgeschlossen.

Tatsächlich geht die Säurebildung durch die Milchsäurebazillen weiter, aber schliefslich doch nicht ins ungemessene. Die bedeutende Erhebung der Wärmekurve kann aber damit nicht zusammenhängen. Diese dürfte für diese Prozesse viel zu bedeutend sein. Der Versuch liefs, selbst als er abgebrochen wurde, noch nicht ein Sinken der Wärme erkennen. Die Wärmeerzeugung der späteren Periode erinnert ganz an einige der früher mitgeteilten Kurven, welche breite Erhebungen zeigen

1) Um etwaige Verluste festzustellen.

im Gegensatz zu Reinkulturen. Diese Form der Kurve scheint auf Metabiose zurückgeführt werden zu müssen. Die starke Wärmeerzeugung folgt zweifellos erst auf die Periode der Säuerung.

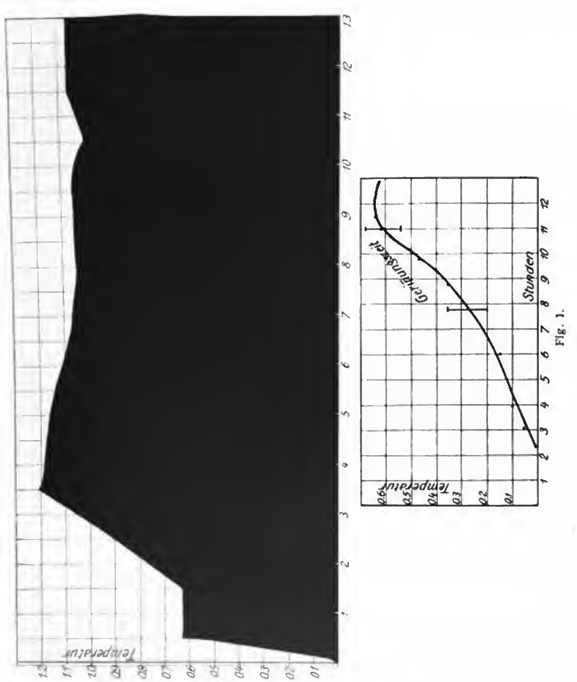


Fig. 1.

Im ganzen genommen zeigt also die Milch, wie andere gärende und bakteriell infizierte Substanzen, eine Spontanerwärmung, die aber keinesfalls nur als Milchsäuregärwärme aufgefafst werden kann.

Die Stoffumsetzungen müssen in dieser Zeit der starken Wärmebildung auch sehr erhebliche gewesen sein, an dieser Stelle will ich aber diese Fragen, die sich auf die Gröfse und die Art des Umsatzes beziehen, aufser Betracht lassen.

Die Bakterienflora, welche anfänglich ziemlich einförmig erscheint, wird später eine sehr mannigfaltige. Am Ende der zweiten Woche trifft man neben den Milchsäurebazillen namentlich eine Hefeart auch wohl den Milchschimmel.

Martinaud gibt an, dafs eine von Ducleaux beschriebene Hefe alkoholische Gärung einleite[1]). Hierauf ist übrigens schon von Hoppe-Seyler verwiesen, welcher sagt, dafs in der Milch der Milchzucker, wie oben gesagt, langsam in CO_2 und Alkohol übergehe, und dafs ferner O aus der Luft aufgenommen würde und Eiweifs und Fett dabei abnähmen[2]).

Wahrscheinlich wird diese hefige Nachgärung mit als die Ursache der Wärmebildung angesehen werden. Ich habe ja gezeigt, wie erheblich thermisch diese Umsetzungen wirken[3]).

Es waren 1,82 % Milchsäure (nach der Titrierung) vorhanden; im Destillat kleine Mengen von Alkohol.

Die Gesamtbilanz der Wärmebildung in 13 Tagen berechnet sich wie folgt:

	0,966°[6]) × 1,284[4]) × 13	= 15,496 Kal.
Schlufserwärmung	228,9[5]) × 1,06	= 0,243 »
	Summe	= 15,739 Kal.
	pro Tag	= 1,21 »

1) Malys Jahresbericht, 1889, S. 180.

2) Lehrbuch, S. 753. Den N-Gehalt der Milch sah ich um 2 % abnehmen (0,51 : 0,50 %).

3) Archiv f. Hygiene, Bd. XLIX, S. 355.

4) 1° Temperaturüberschufs des Kalorimeters = 1,284 Kal. pro 24 Stdn.

5) Wasserwert der Milch = 215 nach meiner Bestimmung
Kalorimeter 10,3 » » »
Öl 3,6 » » »
Gesamtwasserwert 228,9, ist mit der erreichten Temperatur der betreffenden Periode zu multiplizieren.

6) Mittlere Temperaturhöhe.

Dies ist also die gesamte Wärmeabgabe im Mittel. Für 1 l Milch würden pro Tag 4,81 Kal. geliefert worden sein (bei 37,5° l).

Zunächst haben wir die Berechnung der Gesamtwärmebildung während der ganzen 13tägigen Periode durchgeführt.

Es interessiert noch, die bis zur Gerinnung entstehende Wärme für sich zu betrachten.

Dies ist freilich insofern ein etwas unbestimmter Begriff, als die Gerinnung nicht plötzlich eintritt und allerlei Übergänge bis zum festen Koagulum vorliegen können. Ich habe die deutliche Zusammenballung des Kaseins als Kriterum genommen. Bei der langsamen Wärmebildung überhaupt spielen zeitliche Fehler keine grofse Rolle. Die Menge der bis zur Gerinnung auftretenden Wärme kann natürlich keine konstante Gröfse sein, weil ja bei den Experimenten Milchen mit verschiedenem Anfangssäuregrad verwendet werden müssen; doch scheint dieser tatsächlich in meinen Versuchen nicht sehr different gewesen zu sein.

Eine gute Gerinnung war innerhalb 12 Stunden eingetreten, vor dieser Zeit war in den ersten 3 Stunden überhaupt kein Wärmezuwachs zu finden, in den anderen 9 Stunden betrug die mittlere Temperatur 0.39° und das Kalorimeter war überhaupt um 0,61° gestiegen.

Daraus folgt für die eigentliche Periode der Milchsäurebildung an Wärmeerzeugung:

0,39 · 0,052 · 9	= 0,182	Kal. verloren
Erwärmung 0,61 · 0,229	= 0,140	»
Summe	0,322	kg-Kal.

Hieraus ergibt sich als wichtige Tatsache, dafs die Menge der in der Säuerungsperiode bis zur Gerinnung entwickelten Wärme minimal war, im Verhältnis zu den späteren Umwandlungen der Milch. Also gerade in der Wachstumszeit der Milchsäurebazillen ist der energetische Umsatz klein.

Von der in 13 Tagen in der Milch entwickelten Wärme treffen noch nicht einmal 2% auf die eigentliche Säuerungs-

periode. Den Einwand, dafs die Milch etwa schon vor dem Versuche nahe der Gerinnung war, mufs ich als irrtümlich zurückweisen. In diesen ersten näher untersuchten Fällen kommt also der Milchsäuerung nur eine untergeordnete Stelle in der Wärmeerzeugung zu. Es können also überhaupt auch die stofflichen Umsetzungen in der Milch, solange sie nicht geronnen ist, nicht erhebliche sein.

Am Schlufs der Versuche waren im ganzen 1,82% Milchsäure entstanden, bei der freiwilligen Gerinnung rechnet man 0,6%. Wieviel kann durch die Umwandlung des Milchzuckers in Milchsäure Wärme während der Zeit bis zur Gerinnung entstehen?

Für die Milchsäuregärung gibt Berthelot

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (gelöst)} = 2C_3H_6O_3 \text{ (gelöst)} + 20{,}0 \text{ Kal.}$$

pro Gramm Milchsäure oder Zucker also 0,111 kg-Kal.[1]) Daraus folgt für 250 g Milch mit 1,2 bis 1,4 g Milchsäure, als Zuwachs während des Versuches 0,133 bis 0,156 Kal. entstehen konnten; gefunden in der Säuerungsperiode 0,322 Kal. als Wärmebildung. Auf die »Fermentationswärme« kämen also in runder Summe etwa $^4/_{10}$ der Wärmebildung. Genaueres läfst sich nicht angeben, weil ja die Milch vor dem Experiment und unmittelbar nach der Gerinnung nicht direkt analysiert wurde. Aber worauf es ankommt, so viel steht fest, dafs die Wärmebildung durch die Umwandlung des Milchzuckers nicht gedeckt wird.

Wir erhalten also einen durch die Milchsäuregärung und deren thermische Rückwirkung nicht gedeckten Rest an Wärmeeinheiten.

Während man bei der alkoholischen Gärung Schwierigkeiten hat, neben der Wärme aus Zucker andere Wärmequellen zu erweisen, liegt hier bei der Milchsäuerung die Sache völlig anders; hier haben wir zweifellos noch reichlich andere Wärmequellen als die »Gärung«, wenn man von diesem einen Experiment auf die Allgemeinheit schliefsen darf.

Ist der ganze, durch die Umwandlung des Milchzuckers nicht gedeckte Anteil an Energieverlust auf den Stoffwechsel (oder

1) oder 0,130, wenn wir von dem Milchzucker ausgehen.

Wachstum?) der Bakterien zu beziehen? Diese Frage fordert zu weiterer kritischer Betrachtung auf.

Es wäre möglich, dafs die Gerinnung des Kaseins von Wärmeentwicklung begleitet wird. Aufserdem mufs man in Betracht ziehen, dafs die entstandene Milchsäure in der Milch sich löst — wodurch Wärme entstehen und verbraucht werden kann, und dafs die Säure vielleicht Neutralisationswirkungen entfaltet. Ich habe über diese Frage umfangreiche Experimente angestellt.

Milchsäurebildung und Kaseingerinnung in thermischer Hinsicht.

Die Zugabe von soviel Milchsäure zu Magermilch, dafs eine 0,89 proz. Lösung der ersteren entsteht, lieferte

a) 0,351 Kal.
b) 0,385 »,

d. i. pro Gramm Milchsäure 20,1 g-Kal.

Bei Zumengung einer dreimal so grofsen Menge (58,7 g Milchsäure) wurden 1105 g-Kal. erhalten, pro 1 g Milchsäure 18,8 g Kal.

Analog mit 60—61 g Milchsäure (wasserfrei berechnet)

17,24 g-Kal.
16,43 ».

Die kleinste Säuremenge gab also etwas mehr Wärme als die gröfsere Säuremenge. Im Mittel der letzten drei Bestimmungen liefert die Lösung von 1 g wasserfrei berechneter Milchsäure 17,49 g-Kal.

Daraus folgt, dafs mit der Säuerung an sich Wärmeprozesse, die aufserhalb der Bakterienzelle verlaufen, verbunden sind, und zwar dafs die ersten Anteile des Säurezusatzes mehr Wärme produzieren wie die späteren.[1])

Ich habe jetzt die Lösungswärme der Milchsäure bestimmt. Die Säure (meist 83%), wurde im Kalorimeter mit Wasser gemischt, nachdem vorher Wasser und Säure die gleiche Temperatur

1) In der Berthelotschen Formel ist die Säure bereits gelöst berechnet.

angenommen hatten, und von der Mischung nach dem Experiment die spez. Wärme festgestellt. Bei der Lösung von Milchsäure in Wasser findet eine Volumveränderung statt. 2000 Wasser + 50 ccm Milchsäure gaben 2032 Vol. statt 2050.

Die Lösungswärme der Milchsäure von 83% Gehalt ergab sich unter Zugrundelegung der direkten Bestimmung des Wasserwertes der Lösung zu

a) 8,55 g-Kal. pro 1 g
b) 8,41 » » 1 »

und auf 1 g wasserfrei gerechnet = 10,21 g-Kal.[1])

Daraus folgt, dafs in der Milch neben der Lösungswärme der Milchsäure noch eine andere Wärmequelle besteht.

Milchsäure in der Milch liefert . . .	17,49	g-Kal.
Lösungswärme nach obiger Bestimmung	10,21	»
also mehr	7,8	g-Kal. pro 1 g

und für den kleineren Säurezusatz:

20,1 Kal.
— 10,2 »
+ 9,9 Kal. pro 1 g Milchsäure.

Um zu erfahren, ob die Kaseinfällung mitspielt, wurde Milch im Kalorimeter, das in einem Thermophor bei 37° stand und ohne mefsbare Wärmeverluste sich hielt, mit Lab zur Gerinnung gebracht und erhalten:

2 l Milch geben:

a) + 0,040 Wärme in kg-Kal.
b) — 0,040 » » »

also keinen Beweis für die Wärmeerzeugung bei der Labgerinnung. Ich habe auch bei Wiederholung der Experimente keine Resultate

1) a) 2000 Wasser + 61 g Milchsäure. Spez. Wärme der Lösung 0,975.
Wasserwert der Füllung des Kalorimeters 2010
hiezu Kalorimeter 110
2120.

Temperaturzuwachs 0,25°.

erhalten, die bestimmt auf meſsbare Wärmetönungen gedeutet werden konnten.

Nach Versuchen, die ich vor kurzem publiziert habe (Arch. f. Hyg. LV, S. 266), läſst sich auch bei der Koagulation anderer Körper keine Wärmeerzeugung, sondern sogar eine geringe Wärmebindung nachweisen, die für 1 g (trockenes) Eiweiſs auf etwa 7 g-Kal. veranschlagt werden kann.

Somit bleibt nur der Schluſs, daſs Wärme durch Zerlegung von Salzen in der Milch durch die Milchsäure gebildet wurde.

Da Karbonate keine Rolle spielen, so wird man zunächst an die Phosphate denken; vielleicht auch an eine Trennung von CaO vom Kasein u. dgl.

Natriumtriphosphatlösungen (1%) wurden durch Milchsäure zerlegt und nacheinander 9,8, 9,9, 10,0 Milchsäure (wasserfrei berechnet) eingetragen und (abzüglich der Lösungswärme) folgende Wärmemenge gefunden:

I 525,2 g-Kal.
II 177,0 »
III 25,2 »

Ähnliches in folgendem Versuch:

2proz. Lösung Po_4Na_2H (wasserhaltig),

nacheinander je 10 g Reinsäure eingetragen:

a) 173,0 (abzüglich der Lösungswärme der Milchsäure)
b) 57,1 g-Kal.

und Po_4K_3 (wasserfrei) 1%, mit je 8,5 g Säure in drei folgenden Manipulationen versetzt, lieferte (abzüglich der Lösungswärme)

a) 54,5 pro 1 g Reinsäure
b) 13,4 » 1 » »
c) 3,7 » 1 » »

Milchsäure liefert also durch Zerlegung der Phosphate Wärme. Ich habe schlieſslich aus einer groſsen Menge Magermilch drei Proben hergestellt, die eine schwach alkalisch, die andere neutral, die dritte schwach sauer, und die Wärme gemessen, welche nach Zusatz der Milchsäure auftritt.

2000 ccm Magermilch (inkl. 34 ccm N-Natronlauge) erst auf 0,6 proz., dann auf 1,6 proz. Milchsäure gebracht, liefert:

für 0,6 % p. 1 g Milchsäure 41,3 g Kal., schwachsaure Milch 29,3 g Kal.
für die weiteren Säuren
pro 1 g Milchsäure . 8,3 » » » » 6,8 » »

Ähnliche Resultate wurden bei Wiederholung des Versuchs mit anderen Milchproben gewonnen.

Durch diese Experimente ist demnach erwiesen, dafs in der Tat bei der Milchsäuerung — die Lösungswärme der Milchsäure und die Wirkung der Milchsäure auf die Milchsalze in Betracht kommt. Da die Lösungswärme in der Berthelotschen Gleichung bereits einbegriffen ist, so wäre nur noch in Rechnung zu ziehen die Umsetzungswärme, welche oben S. 255 direkt gemessen wurde, und zwar für die kleinere Säuremenge, die dem Säuregrad der Milchkoagulation entspräche = + 9,9 g-Kal. pro 1 g Milchsäure. Für 250 ccm Milch à 0,7 % Milchsäure = 1,75 g Milchsäure im ganzen sind dann zu rechnen = 17,3 Kal.

Greifen wir auf die Wärmebildung während der Säuerungsperiode zurück, so haben wir folgende Zusammenstellung:

Wärme produziert nach meinen direkten Messungen		0,322 Kal.
Umsetzung d. Zuckers i. d. Milchsäure	0,133 Kal.[1]	
Neutralisationswirkung (in Minimo) .	0,017 »	
Summe	0,150 Kal.	— 0,150 »
Wärme aus anderen Prozessen		0,172 kg-Kal.

Da man annehmen darf, dafs in der Säuerungsperiode fast ausschliefslich Milchsäurebildner wachsen, so folgt hieraus, dafs die Milchsäuregärung nur einen Teil des Energieumsatzes der Bakterien ausmacht und zwar weniger als die Hälfte des ganzen Umsatzes.

Neben Milchsäurebildung aus Milchzucker findet also noch eine andere Zerlegung statt. Die dem Umsatz entsprechende Stoffmenge kann durch Eiweifs- oder Kohlehydratzerlegungen gedeckt sein.

---

1) S. o. S. 252.

Sicher verschwindet mehr Milchzucker, als Milchsäure entsteht (s. o.). Von den 0,322 Kal. der Säuerungsperiode sind 0,172 Kal. durch bekannte Umsetzungen zu decken = 54%. — Der Rest der Wärme mufs aus anderen Quellen fliefsen.

Weitere Beobachtungen.

Um zunächst festzustellen, ob die Wärmeverhältnisse der Milch in der Regel sich so verhalten wie in dem ersten näher ausgeführten Versuch, habe ich noch einige weitere Experimente, von denen ich nur zwei anführen will, angestellt.

Ganz analog verlief die spontane Milchgärung in einem zweiten Fall, in welchem ich den Gang der Wärmeproduktion festgestellt habe (Fig. 2).

Die Gerinnung erfolgt hier auch schon im Wärmeanstieg (↓) und die Nachwirkung ist auch hier weit mächtiger.

Noch interessanter ist der dritte Fall, bei dem die Nachwirkung sogar Werte erreichte, die den ersten Versuch erheblich hinter sich liefsen (Fig. 3).

Fig. 2.

Es wurde 7 Tage beobachtet. Beim Ausgiefsen der Kalorimeter roch die Milch käsig und obenauf hatte sich an der unter dem Öl liegenden Schicht ein feines Schimmelmycel gebildet. Auffallend stark war die Säuerung, welche 2,42% auf Milchsäure ergab, die Darstellung des Zinksalzes wurde aber nicht durchgeführt.

Am 6. Dez. 1900 wurde der Versuch begonnen gegen 1 Uhr mittags, 11 Uhr nachts war die Milch gut geronnen.

Schon um 5 Uhr war deutlich der Wärmeanstieg und um 11 Uhr war die Temperatur + 0,53° bei 37,5° C.

Die in der Säuerungsperiode entwickelte Wärme, rund 10 Stunden, betrug

für die Anwärmung	+ 0,176 Kal.	(Erhöhung der Temperatur)
für Wärmeverlust des Kalorimeters	0,121 »	
Summe	0,297 Kal.	

bei Füllung der Kalorimeter mit 260 g Milch. Die Zahlen stimmen also sehr nahe mit dem ersten Experimente überein.

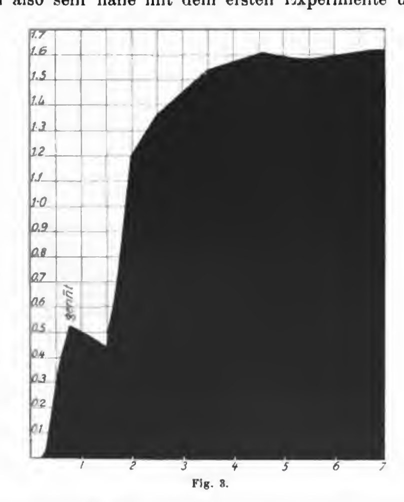


Fig. 3.

Die maximalste Wärmebildung, die vier Tage anhielt, findet sich am Schlufs der Versuche mit 1,60° Temperaturzuwachs im Mittel mit 0,083 Kal. pro Stunde

= 1,997 Kal. pro Tag

= 7,68 Kal. pro Tag u. Liter Milch.

Im Gegensatz zu diesen drei übereinstimmenden Versuchen blieb in einem weiteren Experiment die Wärmebildung in der Nachperiode nach der Gerinnung so gut wie ganz aus und nur

zu Beginn, bei der Säuerung, war eine gut mefsbare Wärmebildung vorhanden.

Der Versuch, um 12 Uhr nachts am 6 Dez. begonnen, zeigte 11 Uhr nachmittags + 0,42° und Gerinnung (Fig. 4).

Bis dahin waren im ganzen 0,259 kg-Kal. an Wärme erzeugt worden. Nach der Gerinnung sank die Wärmebildung erst schwach, dann nach Anstieg am 9. Dez. rasch ab und erholte sich nicht mehr. Vermutlich handelte es sich hierbei um eine einfache Milchsäuregärung, denn in der Tat machte dem Geruch nach die Milch den Eindruck einfacher Säuerung, aber neben der Milchsäurebazillen fanden sich auf den Platten

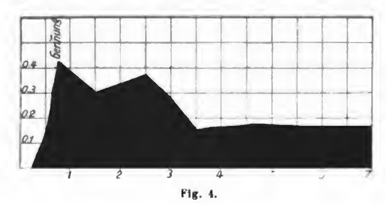


Fig. 4.

doch Hefeformen in nicht unbedeutender Zahl, so dafs sich auch diese möglicherweise in unkontrollierbarer Masse frühzeitig an den Umsetzungen beteiligen. Am Schlusse des Versuchs wurden 2,33% Milchsäure durch Titration gefunden, die höchste beobachtete Zahl. Die Milchsäuregärung stellt also wohl zumeist eine zwar äufserlich durch die Gerinnung sehr markante, aber quantitativ kaum so bedeutungsvolle Etappe in der Gesamtheit aller die Milch zersetzenden Vorgänge dar, als man bisher angenommen hat.

Die Nachgärung, an der hauptsächlich eine Hefe beteiligt ist, braucht nicht immer einzutreten, sondern sie kann hier auch fehlen oder sich mitunter erst nach sehr langer Zeit einstellen.

Die Menge der Kalorien, welche die Milch entwickelt, bis sie gerinnt, stimmt wider Erwarten gut überein, denn die Zahlen sind:

I. Versuch 0,322 kg-Kal. pro 250 ccm

II. Versuch 0,297 kg-Kal. pro 250 ccm
III. » 0,259 » » 250 »

vermutlich hatten die angewandten Milchen sehr ähnliche Anfangssäuregehalte an Milchsäure und zeigten daher auch eine gleichmäfsige Zunahme des Säuregehaltes.

Untersuchungen über weitere Zersetzungen in der Milch.

Zur weiteren Aufklärung der Beteiligung der Milchsäure an der Wärmebildung mufs uns einerseits die Analyse der Milch und die Milchsäureproduktion einen besseren Überblick geben.

Hieran anschliefsend habe ich noch zwei Versuche an einer unter tunlichster Anwendung von Reinlichkeit gewonnenen Milch gemacht; sie war von Haus aus sehr keimarm, aber nicht keimfrei. Die Gerinnung war sehr verzögert. Um 3 Uhr nachm. des 14. Dez. begannen zwei Parallelversuche, aber bis 12 Uhr nachts war wohl die Temperatur um 0,1° gestiegen, aber keine Gerinnung eingetreten. Morgens um 8 Uhr war sie schon abgelaufen, die Temperatur blieb noch einen einzigen Tag wesentlich erhöht, sie sank dann ab und blieb niedrig.

Bei dem einen Versuch war die Wärmebildung bis zur Gerinnung folgende:

Erwärmung des Kalorimeterinhalts . . 154,6
Abgabe an Wärme durch Abkühlung . 143,5
= 298,1 g-Kal.[1])

was mit früheren Versuchen gut übereingeht.

Die Art der Wärmeganges zeigen die beiden Figuren. (Fig. 5 und 6.)

Eine Nachwirkung schien ausgeblieben zu sein.

Die erzeugten Milchsäuremengen wurden in Gläschen von 50 ccm, die mit derselben Milch im Brutraum standen, durch Titration festgestellt. Die Menge des täglich neu hinzukommenden Prozentsatzes an Säure gibt die nachstehende Kurve (Fig. 7).

Die Säurebildung nimmt denselben Gang wie die Wärmeproduktion.

1) Gerechnet bis zu fester Gerinnung.

Die Milch hatte am Anfang: Spez. Gewicht 1,031
Fett 2,1 %,
Milchzucker 4,58 »
und Säure 0,14 »

Zu Ende der Versuche

A	B
1,63 % Säure [1])	1,34 % Säure [1])
2,83 » Milchzucker	3,15 » Milchzucker.

Auf 100 Teile vergorenen Zuckers kommen 84,3 % Milchsäure.[2])

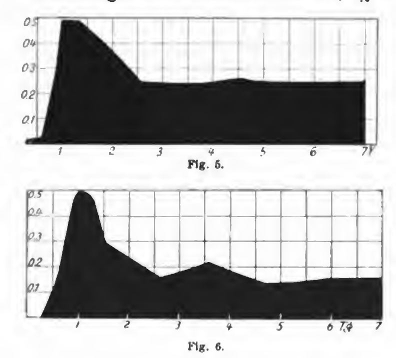


Fig. 5.

Fig. 6.

Aus der zweiten Probe (B) wurden 1,2 g Milchsäure als Zinksalz gewonnen.

Auf Grund dieser Ergebnisse läfst sich prüfen, ob die Veränderungen des Milchzuckers allein die Wärmeproduktion gedeckt hat. Ich fand:

Zucker vor dem Versuch in %	4,58 %
» nach dem Versuch im Mittel	3,15 »
In 100 g fehlen	1,44 g Zucker.
An Milchsäure sind entstanden 1,48 — 0,14 =	1,34
somit Zucker auf anderem Wege zu Verlust . .	0,10 g.

1) Davon gehen 0,14 % ab, die von Anfang an vorhanden waren.

2) 1,59 vergoren = 1,34 Milchsäure = 84,3 %. S. o. S. 246.

0,10 Milchzucker[1]) (wasserfrei) geben bei der Verbrennung	0,388 Kal.
1,34 Milchzucker für die Gärung zu Milchsäure $1{,}34 \times 0{,}111$ (nach Berthelot) . . .	0,148 »
für die Säuerung (Neutralisierung) $1{,}34 \times 9{,}9$ g-Kal.	0,013 »
Summe pro 100 g:	0,549 Kal.

Die Gesamtwärmeproduktion von 300 g Milch während der siebentägigen Periode war:

A. Anwärmung $0{,}25 \times 229 =$	0,047 Kal.
Wärmeverlust bis 2. Tag morgens .	0,143 »
nächste Tage $0{,}28 \times 0{,}052 \times 24 \times 6 =$	2,097 »
Wasserverlust	0,071 »
Summe	2,358[2]) Kal.
Gedeckt durch den Zuckerumsatz[3]) $0{,}549 \times 3 =$	1,647 »
somit aus anderen Quellen	0,711 Kal.

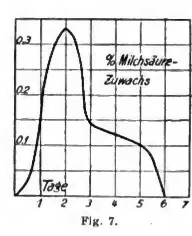


Fig. 7.

Auch hieraus also folgt, dafs weder die Gärung, noch die sonstige Zuckerzersetzung die Wärmeproduktion ganz erklärt, sondern andere Materialien, Eiweifs oder Fett, mit in den Zerstörungsprozefs hineingezogen werden mufsten. Ammoniak war in der Milch nach dem Versuch nachzuweisen (0,002%), da aber die Milch vorher nicht eingehend geprüft war, liefs sich die kleine Ammoniakmenge als Bestätigung einer Eiweifsspaltung nicht weiter verwerten.

Der Stickstoffgehalt war von 0,51 auf 0,50% gesunken; es könnten daher wohl an 0,03 g N entsprechend an Eiweifs zerlegt

1) 1 g = 3877 g-Kal.

2) Es können noch kleine Verluste durch Austreibung von CO_2 vorgekommen sein.

3) 300 g Milch angewandt, daher $0{,}549 \times 3 = 1{,}647$.

worden sein. Doch sind es nur Vermutungen, wenn wir uns vorstellen, dafs analoge Spaltungen wie bei anderen Organismen mit dem Eiweifs sich vollzogen haben. Ich könnte nur eine Tatsache, die vielleicht einen Anhaltspunkt bieten könnte, erwähnen, nämlich, dafs die Milch nach dem Versuch etwas mehr an N, der durch Bromlauge abgespalten werden kann, lieferte, nämlich 0,02 g gegenüber 0,004 oder 0,005 zu Anfang. Das würde also mit einem Angreifen der Eiweifsstoffe sich wohl in Einklang bringen lassen; ein Teil der gespaltenen N-haltigen Stoffe könnte als NH_3 entwichen sein.

Wenn 0,03 N zu Verlust gegangen sind und 0,711 Kal. damit in Beziehung ständen (s. S. 262), so wären auf 1 umgesetzten N 23—24 Wärme entwickelt worden, was durchaus in den Bereich der Möglichkeit gehört.

Die Milch war zwar durch Öl vor Wasserverlust geschützt, dies hindert aber den Durchtritt kleiner Sauerstoffmengen nicht völlig, so dafs immerhin zu oxydativen Spaltungen gewissen Umfangs Gelegenheit gegeben gewesen sein mag.

Die Bedeutung der Milchsäuregärung im ganzen Verlauf der natürlichen Veränderung der Milch läfst sich am besten ersehen, wenn man die Wärmeerzeugung der letzteren für die einzelnen Tage erhebt, und diesen Gröfsen die Menge der Wärme, welche durch Spaltung des Milchzuckers nach Berthelot sich bilden konnte, gegenüberstellt.

Die Milchsäurebildung habe ich in kleinen Kölbchen derselben Milch bei denselben Temperaturen verfolgt; die absolute Menge wie auch die Konzentration der Milchsäure im Kalorimeter wie in den kleineren Milchproben stimmte nicht ganz überein.

Zur Berechnung kann ich nur die im Kalorimeterversuch selbst gemessene Milchsäure benutzen; die zeitliche Verteilung auf die einzelnen Tage nehme ich genau nach der Kurve der Säurebildung der kleinen täglich titrierten Proben vor, was als zulässig erscheinen dürfte.

Ich erhalte dann — falls die Berthelotsche Milchsäuregleichung thermisch richtig bestimmt ist — umstehende Werte.

Tabelle I.

Tag	Mittel-Temperatur	Kalorien	Zuwachs oder Abnahme des Kalorimeters	Summe der ganzen Wärmebildung	Milchsäure erzeugt im ganzen	Kalorien aus der Milchsäurebildung berechnet	Die Milchsäurewärmebildung macht in % der ganzen Wärmebildung
1	0,193°	0,241	+0,044	0,285	0,693	0,104	36,9 %
2	0,352	0,441	0,036	0,477	1,485	0,223	45,9 »
3	0,195	0,244	—0,036	0,208	0,585	0,088	42,3 »
4	0,192	0,240	0	0,238	0,630	0,094	39,1 »
5	0,142	0,240	—0,011	0,228	0,450	0,063	27,6 »
6	0,142	0,205	0	0,205	0	0	0
7	0,140	0,187	0,004	0,183	0	0	0

Die aus Milchzuckerspaltung bei der Säuerung frei werdende Wärme betrug (s. Stab 8) zwischen 37 bis 46 % der sonst beobachteten gesamten Wärmebildung im Kalorimeter. Der Tag 5 war wohl schon an der Grenze der Säurebildung angelangt. Vom 6. Tage ab mufs Wärme sich in erheblichem Mafse auch aus anderen Umsatzquellen eröffnet haben.

Da bis zum 3. und 4. Tage sicherlich, wie auch die bakteriologische Untersuchung zeigte, die Milchsäurebazillen die Oberhand hatten, würde das Resultat also dahin zu deuten sein, dafs neben Milchsäurebildung noch andere Wärmebildungsprozesse vorhanden sind.

Da ich mir wesentlich nur die Aufgabe gestellt hatte, die Wärmebildung selbst zu verfolgen, so hatten diese Versuche nur den Zweck, über die Art der Zerlegung ein vorläufiges Urteil zu gewinnen. Sie zeigen aber doch mit Bestimmtheit, dafs der gewöhnliche Prozefs der Milchsäuerung komplizierter verläuft als bisher angenommen wurde.

Die Untersuchungen werden über die Milchsäurebildung im engeren Sinne weitergeführt werden, ich werde in einer späteren Arbeit darüber Bericht erstatten.

Gleichzeitig mit diesen Proben im Kalorimeter hatte ich noch kleine Gefäfse mit 100 ccm Milch in den Thermostaten gestellt.

Es wurde vorher und nachher von diesen Proben der Verbrennungswert festgestellt.

Gewifs läfst sich die Probe nicht ganz exakt mit dem Ablauf der Experimente im Kalorimeter vergleichen, ich glaubte aber doch auf sehr genäherte Resultate hoffen zu dürfen.

Eine Milchprobe der frischen Milch gab pro 100 ccm:

	10,707 Trockensubst.	à 5,296 Kal.	= 56,704
nach dem Versuch	9,552 »	à 5,820 »	= 55,590
		Es fehlen also an Kal	1,114

pro 100 ccm. Die Milch hat also in der Tat, auch nach dieser Methode beurteilt, an Verbrauchswert eingebüfst, für 2,52 ccm also rund 2,79 Kal. in 7 Tagen (gegen 2,36 Kal. direkter Messung), was mit obiger direkter Messung der Wärmeabgabe genügend übereingeht, da man ja nie auf ganz gleiches Bakterienwachstum rechnen kann. Die Zunahme der Verbrennungswärme der Milch pro 1 g Trockensubstanz beweist, dafs Eiweifs oder Zucker hauptsächlich angegriffen worden sind; sollten sich namentlich durch Zersetzung des letzteren auch Alkohol und ähnliche flüchtige Produkte gebildet haben, so könnte allerdings beim Eintrocknen der Milch auf diesem Wege ein Verlust an Energie entstanden sein.[1])

Der Sodazusatz zur Milch vermag die Säuerung und Gerinnung stark hinauszuschieben. Ich versetzte Milch soweit mit Soda, dafs sie 1% davon enthielt, dies ändert die ganze Kurve der Wärmebildung. Die Periode der Wärmebildung ohne Gerinnung dehnte sich auf mehrere Tage aus, dann nahm die Wärmebildung stark ab, und erst in der Periode dieses Abfalls gerann die Milch, ohne dafs irgendwie eine mit Gerinnung zusammenfallende Wärmeerzeugung zu sehen gewesen wäre. Zweifellos hat ein ziemlicher Verlust von Wärme durch Austreibung der CO_2, die sich erst allmählich mehr ausbilden konnte, stattgefunden. Die nachträgliche, nach der Gerinnung erfolgende Wärmebildung ist hier ganz ausgeblieben, oder hätte sich vielleicht erst später gezeigt (Fig. 8).

Ein Versuchspaar wurde mittels steriler Magermilch ausgeführt. Die Milch, in das sorgfältigst in allen Teilen sterilisierte Kalorimeter gebracht, wurde, nachdem Gleichgewicht eingetreten

1) Es könnte Essigsäure u. dgl. wohl auch in Frage kommen.

war, mit einem Keim, der rechtsdrehende Milchsäure liefert, infiziert. Die Wärmebildung verlief in beiden Fällen

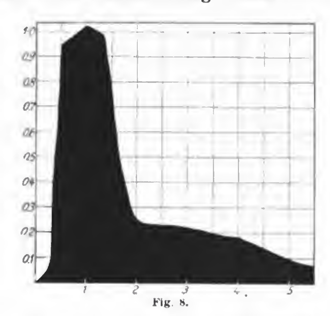


Fig. 8.

analog. Die Kurve ist rein und durch keine Nebengärung gestört; sie fällt ab wie die anderer Versuchskurven,

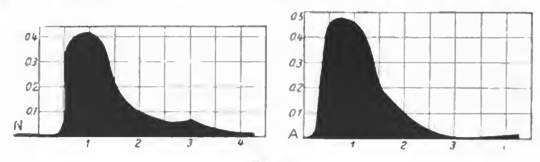


Fig. 9.

die man bei Anstellung mit Reinkulturen überhaupt zu erhalten pflegt. Eine Ausrechnung der Wärmebildung für einzelne Tage zeigt folgendes:

Tabelle II.

	Versuch I.			Versuch II.		
Zeit	A	B	Summe der Wärme	A	B	Summe der Wärme
1 Tag	0,024	0,039	0,063	0,033	0,043	0,081
2 »	0,544	+ 0,074	0,615	0,480	+ 0,053	0,533
3 »	0,151	— 0,081	0,070	0,133	— 0,065	0,068
4 »	0,063	— 0,018	0,045	0,024	— 0,020	0,004
5 »	0,013	— 0,08	0,005	—	—	0
		Summe	0,798		Summe	0,686

A = Verlust durch Abkühlung,
B = Wärmeänderung des Kalorimeterinhaltes.

In dem einen Fall sind 0,798, im anderen 0,686 kg-Kal. } Mittel 0,742 kg-Kal.[1]) während der ganzen Wachstumszeit entstanden, im ganzen wenig. Es ist aber allerdings auch wenig Zucker umgesetzt worden.

Die verwendete Spezies erzeugte, als sie in Kölbchen zu 50 ccm Inhalt bei der gleichen Temperatur des Kalorimeters gehalten wurde, in 4 Tagen ein Maximum von 0,941 % Milchsäure, welches an den nächstfolgenden Tagen nicht weiter überschritten wurde. Nachstehende Kurve gibt die zeitlichen Zuwächse in Prozenten ausgedrückt. (Fig. 10.)

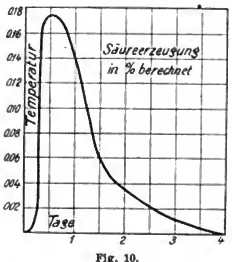


Fig. 10.

Bezüglich des nicht sehr hohen Endgehaltes der Säure überhaupt, sei daran erinnert, dafs die Milch sterilisiert, also »gekocht« war, wobei sich nach anderen Angaben stets weniger Säure bildet.

Der Keim ist aber sonst ein guter Säurebildner. Die Ursache liegt offenbar darin, dafs er gegen Sauerstoffentziehung etwas empfindlich ist und offenbar bald eine Hemmung seiner Entwicklung bei Sauerstoffzutritt erfuhr. Im ganzen wurde nicht mehr als 1,2—1,0 Zucker umgesetzt = 1,2—1,0 g an Säurebildung; für 0,742 kg-Kal. hätten wir also 0,15—0,170 Kal. aus der Milchsäuregleichung also etwa 22—23 % der gleichzeitigen sonstigen Wärmebildung. Das ist weniger, als oben für die Handelsmilch gefunden wurde, beweist aber auch, dafs die Milchsäuregleichung allein keine Gleichung für den Lebensprozefs der betreffenden Bakterien darstellt. Ich behalte mir die Untersuchung dieser Verhältnisse vor.

1) Bis zur Gerinnung wurden früher gemessen 0,322, 0,297, 0,259, 0,298 } kg-Kal., Mittel 0,294.

Die Gerinnung tritt ein, wenn 40,6 % des gesamten Umsatzes der Milch abgelaufen sind, welcher auf reine Milchsäuregärung zu beziehen ist.

Ich glaube, diese Annahme, dafs nicht immer die Gärung vollinhaltlich ein Ausdruck der Lebensgleichung sein kann, hat schon um deswillen manches für sich, weil wenigstens auf Grund anderer Erfahrungen angenommen werden darf, dafs durch äufsere Eingriffe einer Spezies das Gärvermögen manchmal ganz genommen werden kann, ohne das Wachstum, also auch ohne den sonstigen Umsatz aufzuheben. Es ist ein interessantes Problem zu untersuchen, ob in solchen Fällen künstlich beseitigter Gärfähigkeit dann kompensatorisch andere Zellleistungen hinsichtlich des Energieumsatzes erhöht werden. Damit wäre auch die Lösung einer anderen wichtigen Frage verknüpft, die Erkenntnis nämlich, ob und inwieweit Gäreigentümlichkeiten Schutzeinrichtungen zur Ausschliefsung der Konkurrenz anderer Keime sind, oder ob sie in die Energetik der Zelle im engeren Sinne gehören.

Einige Beobachtungen über den Einfluſs von Bakterien auf Pepsin.

Von

Dr. J. Papasotiriou,

Erster Assistent am Hygienischen Institut in Athen.

(Aus dem Hygienischen Institut in Würzburg.)

Während meines Aufenthaltes im Sommersemester 1904 in Würzburg regte mich Herr Prof. Dr. K. B. Lehmann an, einige Versuche darüber anzustellen, ob Bakterien Fermente zu zerstören vermögen.

Meine Bemühungen, über die Frage Literatur zu finden, sind vollkommen negativ verlaufen. Ich bin mir aber bewuſst, daſs doch recht wohl irgendwo etwas über die Frage gearbeitet sein kann, was mir nicht zugänglich war. Bei der kurzen Zeit, die mir zur Verfügung stand, habe ich mich einstweilen darauf beschränkt, Versuche über das Schicksal des Pepsins unter der Einwirkung von Bakterien anzustellen. Ein Vorversuch über die Wirkung des im Institut vorrätigen käuflichen Pepsinpulvers ergab, daſs 3 g gehacktes, gekochtes Hühnereiweiſs von 10 ccm 1‰ igee Pepsinlösung und 40 ccm $^{1}/_{10}$-Normalsalzsäure im Brutschrank bei 38° in 24 Stunden vollständig gelöst wurden. Nach weiteren Vorversuchen beschloſs ich die Versuchsdauer für meine eigentlichen Versuche auf 9 Stunden zu beschränken. Nach dieser Zeit war bei Beschickung des Kölbchens mit den eben genannten Bestandteilen etwa die Hälfte des Hühnereiweiſses gelöst. Die

Untersuchung über die Pepsinwirkung wurde regelmäſsig in der Weise vorgenommen, daſs der Inhalt des Kölbchens nach Ablauf der Versuchszeit filtriert wurde, und Filterrückstand sowohl wie Filtrat nach der Kjeldahlschen Methode auf Stickstoff untersucht wurden. Die Summe der beiden Zahlen muſste in allen Versuchen konstant sein oder durfte wenigstens nur von Versuch zu Versuch in unbedeutenden Grenzen schwanken, bedingt durch etwas verschiedene Zusammensetzung des gekochten Eiweiſses, das ich zu meinem Versuch verwandte.

Die Veränderung des Pepsins durch Bakterien wurde zunächst in der Weise untersucht, daſs ich zu 1 ‰iger Pepsinlösung geringe Mengen Faulflüssigkeit (von faulem Fleisch stammend) fügte, und die Mischung verschieden lange Zeit im Brutschrank lieſs, natürlich ohne Zusatz von Salzsäure. Um mich zu überzeugen, ob eine Pepsinlösung ohne Salzsäure nicht schon durch die Bruttemperatur an sich eine Schädigung erleide, wurde ein solcher Versuch angestellt. Ein 12stündiges Verweilen einer Pepsinlösung im Brutschrank erwies sich als unschädlich.

Um auch die Wirkung einzelner Bakterienarten auf Pepsin kennen zu lernen, wurde zu 10 ccm 1 ‰iger Pepsinlösung 5 ccm einer 38 Stunden alten Reinkultur von Bacterium fluorescens, Bact. putidum und Bact. vulgare in Bouillon gesetzt und die Probe 12 Stunden bei 38° stehen gelassen. Hierauf wurden wieder 3 g gekochtes Hühnereiweiſs und 40 ccm $^1/_{10}$-Normalsalzsäure zugefügt und wieder 9 Stunden im Brutschrank stehen gelassen, dann der Inhalt der Kölbchen untersucht nach der oben beschriebenen Methode. Die Resultate der Arbeit kann ich in eine kurze Tabelle zusammenfassen

(Siehe die Tabelle auf S. 273.)

Aus den Versuchen folgt einwandfrei:

Schon 9stündige Einwirkung von Faulflüssigkeit zerstört die Wirkung des Pepsins vollständig. Eine solche Flüssigkeit wirkt nicht anders, als ob kein Pepsin mehr vorhanden wäre. Es finden sich in Lösung einige Milligramm, 5, 8, 9 mg, zweimal

Zu allen Versuchen wurde 3 g Eiweifs (mit ca. 60 mg Stickstoff) 40 ccm $^{1}/_{10}$ Normal-H Cl verwendet.

	Versuch I	Versuch II	Versuch III	Versuch IV
Ohne Pepsin	gelöst 6,1 ungelöst 54,9 zusammen 57,4	gelöst 5,9 ungelöst 51,7 zusammen 57,6		
Frisches Pepsin	gelöst 32,5 ungelöst 24,9 zusammen 57,4	gelöst 39,5 ungelöst 21,9 zusammen 61,3	gelöst 39,2 ungelöst 19,0 zusammen 59,2	gelöst 38,1 ungelöst 18,5 zusammen 56,6
Pepsin 12h bei 38° ohne Fäulnis	gelöst 38,6 ungelöst 20,1 zusammen 58,7	gelöst 37,8 ungelöst 21,3 zusammen 60,1		
Pepsin 9h gefault b. 38°	gelöst 5,6 ungelöst 51,0 zusammen 56,6	gelöst 9,0 ungelöst 50,4 zusammen 59,4		
Pepsin 12h gefault b. 38°	gelöst 8,7 ungelöst 51,2 zusammen 59,9	gelöst 12,6 ungelöst 53,2 zusammen 65,8		
Pepsin 24h gefault b. 38°	gelöst 12,3 ungelöst 49,8 zusammen 62,1	gelöst 9,2 ungelöst 47,0 zusammen 56,3		
Pepsin 48h gefault b. 38°	gelöst 9,2 ungelöst 52,4 zusammen 61,6	gelöst 9,0 ungelöst 50,7 zusammen 59,7		
Pepsin 12h mit 5 ccm Patidumkultur bei 38°	gelöst 19,6 ungelöst 54,6 zusammen 74,2	gelöst 20,1 ungelöst 53,5 zusammen 73,6		
Pepsin 12h mit 5 ccm Vulgarekultur bei 38°	gelöst 21,3 ungelöst 46,5 zusammen 67,8	gelöst 21,3 ungelöst 46,5 zusammen 67,8		
Pepsin 12h mit 5 ccm Fluoreszenzkultur bei 38°	gelöst 20,2 ungelöst 56,6 zusammen 76,8	gelöst 21,8 ungelöst 54,3 zusammen 76,1		

12 mg, während Eiweifswürfel und Salzsäure ohne den Pepsinzusatz etwa 6—7 mg Stickstoff bei 9stündigem Stehen in Lösung gehen lassen.

Auch die Versuche mit dem Zusatz von Reinkulturen von Bakterien ergaben ein analoges Resultat; es ist hier nur scheinbar der Eiweifsgehalt resp. der Stickstoffgehalt der Lösung etwas vermehrt. Dieser vermehrte Stickstoffgehalt kommt aber in allererster Linie jedenfalls auf den Zusatz der 5 ccm Bouillonkultur der Bakterien. Die Menge des ungelösten Eiweifses zeigt bei

Putidum und Fluorescens gar keine, bei Vulgare eine geringe Verminderung.

Meine Absicht, die Versuche noch zu vervielfältigen und vor allen Dingen auch noch auf andere Fermente auszudehnen, hoffe ich später verwirklichen zu können. Herrn Prof. Lehmann sage ich für die Überlassung des Themas und freundliche Unterstützung bei der Ausführung meinen besten Dank.

Untersuchungen über die Aufnahme von Gasen (namentlich Ammoniak) und Wasserdampf durch Kleidungsstoffe.

Von

Prof. Dr. K. B. Lehmann.

(Aus dem Hygienischen Institut in Würzburg.)

Einleitung.

Im Jahre 1902 hat Herr Dr. Kisskalt auf meine Veranlassung hin einige Versuche über die Absorption von Gasen durch Wolle und Baumwolle ausgeführt[1]), nachdem ich gefunden hatte, daſs die Haare eines Tieres aus einer relativ schwachen Ammoniakatmosphäre, ebenso aus einer Chloratmosphäre erhebliche Mengen des Gases zu absorbieren vermögen.[2]) In der Arbeit von Kisskalt sind auch einige Versuche von Chelius, die unter Rubners Leitung in Marburg im Jahre 1891 angestellt und nur als Dissertation publiziert sind, kurz erwähnt. Im Jahre 1903 habe ich dann Herrn Prof. Yokote veranlaſst, in meinem Institut die Frage nochmals eingehender zu untersuchen. Bei den Untersuchungen von Yokote[3]) zeigte es sich, daſs eine Reihe von Vorfragen gelöst werden müssen, wenn man tiefer in das Problem der Gasabsorption durch Textilfasern eindringen will. Namentlich schien vor allem einer sorgfältigen Untersuchung zu bedürfen, inwieweit absolut trockene Stoffe Gase,

1) Dieses Archiv, XLI, 197.

2) a. a. O., S. 190.

3) Dieses Archiv, L. p. 128.

wie Ammoniak, zu binden imstande sind. Herr Prof. Yokote war durch Ablauf seines Europaurlaubs verhindert, die Arbeit weiterzuführen, und so habe ich mich denn selbst daran gemacht, durch neue Versuche die Frage zu fördern, wobei ich viel weiter ausholen mufste, als ich anfangs glaubte.

Meine Versuche sind zunächst alle mit Ammoniak angestellt, weil Ammoniakgas in grofsen Mengen von den Textilstoffen absorbiert wird und es sich leicht titrimetrisch genau bestimmen läfst. Weiter durfte vorausgesetzt werden, dafs die Bindung des Ammoniaks an die Kleidung eine vorwiegend physikalische sein wird, namentlich gilt dies für Baumwolle und Leinwand.

I. Allgemeine Vorbemerkungen zur Methodik.

Die Methodik meiner Vorgänger hatte darin bestanden, dafs sie die Stoffe in Stücken von ca. 100 qcm ausgebreitet oder besser an zwei Fäden ausgespannt unter eine Glasglocke brachten, in der ein kleines Ammoniakgefäfs, etwa 10 ccm Ammoniak, eine halbe Stunde lang gestanden hatte. Die Versuchsdauer war 1 Stunde, nachdem Yokote, wie früher schon Kisskalt, gezeigt hatten, dafs bei Verlängerung dieser Zeit bis zu 8 Stunden eine nennenswerte weitere Ammoniakaufnahme nicht mehr stattfindet. Dies Resultat mufste bei näherem Überlegen befremden, indem doch meine Versuche an Wolle (u. a. XLI, 195) und Yokotes Ergebnisse auf S. 144 u. 145 nachgewiesen hatten, dafs der Gehalt des Stoffes an hygroskopischem Wasser von Bedeutung für die Ammoniakaufnahme ist, und unmöglich in 1 Stunde die Aufnahme des hygroskopischen Wassers ihr Ende erreicht haben kann. Es war also hier schon ein Punkt gegeben, der zu weiteren Versuchen anregen mufste. Zweitens mufste man sich fragen, ob es denn erlaubt sei, die Versuche in der Art vorzunehmen, dafs man die Stoffprobe aus der Ammoniakglocke mit einer Pinzette herausnimmt und sie dann rasch in Säure eintaucht. Yokote hat in den interessanten Versuchen auf S. 148 gezeigt, dafs mindestens der Baumwollflanell durch kurzes Hin- und Herbewegen in der Luft ungemein rasch $^2/_3$, $^4/_5$, $^{19}/_{20}$ seines Ammoniakgehaltes abgibt, währenddem der Ammoniakgehalt der

Wollstoffe sich viel langsamer verändert. Man mufste aus diesen Ergebnissen die Möglichkeit ableiten, dafs schon bei dem etwa $^1/_2$ m weiten Weg von der Ammoniakglocke in die Schwefelsäure ein nicht unerheblicher Teil des Ammoniaks verloren gegangen sei, wenn auch nicht von der Wolle, so doch von der Baumwolle; und es schien möglich, dafs der Unterschied in der Absorption von Ammoniak durch Baumwolle und Wolle, wie ihn Kisskalt und Yokote gefunden haben, zum Teil dadurch bedingt sei, dafs beim Herausnehmen das Wollstück bei der von ihnen gewählten Versuchsanordnung sein Ammoniak zäher zurückhält als das Baumwollstück.

Ich habe mich in der Tat überzeugen müssen, dafs diese Vermutung richtig ist, und dafs alle Versuche mit einer Methodik, die sich an die Versuchsanordnung von Kisskalt und Yokote eng anlehnt, Resultate geben, die keine absoluten Absorptionswerte darstellen, sondern nur zeigen, wieviel Ammoniak bei einer bestimmten Versuchsanordnung sehr kurze Zeit nach der Entnahme in dem Stoffstück noch zurückbleibt. Für diese Spezialfrage, die erhebliches praktisches Interesse hat, behalten die Versuche der genannten Autoren ihren Wert.

Meine eigenen Versuche begann ich damit, Stoffstücke von bekanntem Trockengewicht eine gewisse Zeit in einem Gasstrom von reinem Ammoniak zu halten. Im Anfang machte es Schwierigkeiten, einen derartigen Strom herzustellen. Ich versuchte es zunächst durch Erhitzen von Salmiak mit Kalziumhydroxyd und Abkühlen des ausgetriebenen Gases, um es von der gröfsten Menge des Wassers zu befreien. Die weitere Trocknung geschah durch Durchleiten durch lange Röhren mit Ätzkalk, die Wirkung der Trockenapparate wurde erprobt. Es gelang mir aber auf diese Weise nicht, einen genügend konstanten Gasstrom zu erzeugen, ohne sehr grofse Mengen Salmiakätzkalkgemisch anzuwenden. Wir verfielen deshalb auf die Idee, das Ammoniak einfach durch Erhitzen von Ammoniakwasser herzustellen. Bei einer Temperatur von etwa 40—50°, später von 70—80°, entweicht aus 200 ccm Ammoniakflüssigkeit ein sehr starker und gleichmäfsiger Ammoniakstrom für die Dauer von 2—3 Stunden, so dafs ein gleichmäfsiges

Durchleiten eines solchen Stromes durch ein Röhrensystem, das die gewogenen Stoffproben enthält, gar keine Schwierigkeiten macht.

Ich überzeugte mich durch Auffangen des den Apparat passierenden Ammoniakgases in verdünnter Schwefelsäure, dafs das Gas bald nur Spuren von Luft enthielt. Von diesem Moment ab, der ungefähr $^1/_4$ Std. nach Versuchsbeginn eintrat, wurde dann durch den Apparat zwei Stunden lang Gas durchgeleitet. Die mit Ammoniak beladenen Stücke wurden in 200 ccm verdünnte titrierte Schwefelsäure gebracht und nach 10 Stunden zwei aliquote Proben der Schwefelsäure titriert. Die Einzelheiten dieser Überführung werden unten geschildert, da sie in den einzelnen Versuchsreihen sehr variierten. Bei der Berechnung wurde berücksichtigt, dafs (Yokote) Leinwand und Baumwolle keine Schwefelsäure bindet, dafs aber 1 g der von mir verwendeten Wolle 7,2—8,6 ccm $^1/_{10}$ Normalschwefelsäure zu sättigen imstande war. Es sind diese Zahlen noch gröfser als die, welche Yokote fand (4,7—5,0). Der Unterschied kann wohl darin liegen, dafs ich die Wolle mit $^1/_5$, Yokote mit $^1/_{10}$-Normalschwefelsäure in Berührung brachte. Alle in folgendem mitgeteilten Zahlen tragen der daraus sich ergebenden Korrektur Rechnung.

Ausdrücklich bemerke ich, dafs die Stoffe durch sehr langes Kochen von Appretur vollständig befreit waren.

II. Eigene Versuche über Ammoniakabsorption unter raschem Herausnehmen der Proben aus der Ammoniakatmosphäre.

Ich kann über diese Versuche, die in mannigfaltigen Modifikationen angestellt sind, sehr kurz berichten, da sie einen wissenschaftlichen Wert nicht mehr haben. Sie wurden in der Weise angestellt, dafs ich in den Ammoniakstrom Gläser verschiedener Form einschaltete, in denen entweder eine oder zwei oder drei Stoffproben angebracht waren. Solche Gläser wurden mit Gabelröhren mehrere nebeneinander in den Strom eingeschaltet. War der Versuch zu Ende, so wurde rasch das Gefäfs geöffnet und die Proben in ein bereitstehendes Ammoniakglas eingetaucht. Bei der Verwendung eines trockenen Ammoniakstromes und

trockener Stoffe fand ich folgende nur mäfsig befriedigende Resultate für 1 g trockenen Stoff:

Tabelle I.

für Leinwand	in 5 Vers.	von 1 oder 2 Std.	36,0—42,6 mg
» Baumwolle	» 7 »	» » » » »	33,5—44,0 »
» Wolle	» 4 »	» » » » »	50,0—56,0 »

Noch schlechter war die Übereinstimmung der Versuche mit lufttrockenen Stoffen — ihr Gewicht wurde immer trocken festgestellt und sie dann einige Stunden bei Zimmertemperatur liegen gelassen — beim Überleiten (2 Stunden) von feuchtem mit Wasserdampf gesättigtem Ammoniak. Ich fand:

Tabelle II.

für Leinwand in 19 Vers. Schwankungen von	25,0 bis 56,0 mg
die meisten Werte bewegten sich zwischen	30,0 u. 40,0 »
für Baumwolle in 22 Vers. Schwankungen von	19,0 bis 48,0 »
die grofse Mehrzahl der Werte schwankte zwischen	27,0 u. 35,0 »
für Wolle in 29 Vers. Schwankungen von	37,0 bis 77,0 »
die grofse Mehrzahl der Werte schwankte zwischen	45,0 u. 50,0 »

Diese schlechten Resultate mufsten in mir die Zweifel erwecken, die ich schon in den »Vorbemerkungen zur Methodik« ausgesprochen habe. Vor allen Dingen schien die erste Aufgabe, das Herausnehmen der Proben aus der Ammoniakatmosphäre vor dem Einsenken in die Schwefelsäure zu vermeiden.

Um mich von der Bedeutung des Modus des Herausnehmens experimentell zu überzeugen, wurde zunächst ein Versuch in der Weise angestellt, dafs je drei Proben Leinwand, Baumwolle und Wolle in drei etwa 1 dm langen Röhren nebeneinander in den Strom eingeschaltet wurden. Die Herausnahme erfolgte in einer bestimmten Reihenfolge. Der Ammoniakstrom wurde angestellt, die Röhre geöffnet und die vorderste, dann die hinterste und endlich die mittlere Probe so schnell als möglich herausgenommen und in Schwefelsäure gelegt. Die Versuchsdauer war 2 Stunden,

die Temperatur 17,5°, der Ammoniakgehalt 100%. Es fanden sich bei

Tabelle III.

	Leinen	Baumwolle	Wolle
erste Entnahmeprobe	56,0 mg	47,6 mg	71,0 mg
zweite »	48,0 »	46,6 »	77,0 »
dritte »	34,0 »	41,6 »	70,0 »,

d. h. bei der glatten, wenig mit Härchen besetzten Leinwand ein sehr starker, bei der Baumwolle ein merklicher, bei der Wolle kein deutlicher Verlust in den drei hintereinander entnommenen Proben. Die Wolle enthielt etwa doppelt so viel Ammoniak wie die ammoniakärmste Baumwollprobe.

III. Versuche über die Absorption von trockenem Ammoniak durch trockene Stoffe bei einwandfreier Versuchsanordnung.

Aus dem vorhergehenden Abschnitt ergab sich ohne weiteres, dafs jede Stoffprobe einzeln in ein kleines Röhrchen eingeschlossen werden und dafs ihr Ammoniakgehalt bestimmt werden müsse, samt dem Ammoniakgehalt des Röhrchens. Rechnerisch — und zur Vorsorge auch durch einige Kontrollversuche titrimetrisch — mufste dann der Ammoniakgehalt des nicht vom Stoff erfüllten Röhrchenanteils ermittelt und von dem Gesamtresultat abgezogen werden. Ich verwendete Glasröhrchen, wie sie etwa zur Kupferoxydulfiltration verwendet werden, von einem Inhalt von 20 ccm. Dieselben waren am einen Ende ausgezogen, am anderen durch einen mit Glasrohr durchbohrten Kautschukstöpsel verschlossen. Die Ammoniakaufnahme eines Kautschukstöpsels wurde ebenfalls bestimmt und in Rechnung gezogen. Am Ende des Versuchs wurde das Röhrchen durch zwei Schraubenklemmen abgesperrt und nach rascher Wegnahme des unteren Verschlusses in eine abgemessene Menge verdünnter Schwefelsäure gesteckt. Mit einem Ruck drang die Flüssigkeit in den Raum ein, man liefs dieselbe ablaufen, saugte noch einige Male frische Schwefelsäure nach und legte schliefslich das Stoffstückchen in die Schwefelsäure. Nach einigen Stunden wurde titriert, die Kontrollversuche stimmten jetzt mit grofser Genauigkeit und die

ganze Unsicherheit war verschwunden. Die nach dieser Methode angestellten Versuche sind folgende:

Tabelle IV.

NH_3 trocken; Stoffe trocken in besonderen kleinen Röhrchen für jede Probe.

A. Temperatur 17—20° C.

Leinen	Absorbierte Menge NH_3 in mg pro 1 g Stoff	Dauer der Einleitung	Baumwolle	Absorbierte Menge NH_3 in mg pro 1 g Stoff	Dauer der Einleitung	Wolle	Absorbierte Menge NH_3 in mg pro 1 g Stoff	Dauer der Einleitung
Leinen gebleicht	45,2	2 Std.	Baumwolle gebleicht	46,0	2 Std.	Jägerstoff gewaschen	56,0	2 Std.
do.	45,1	2 »	do.	45,8	2 »	do.	55,2	18 »
Leinen ungebleicht	50	2 »	do.	44,0	2 »	Jägerstoff ungewasch.	58,7	2 »
			do.	43,1	18 »			
do.	52	2 »				do.	58,9	18 »
do.	52	2 »				do.	58,2	2 »
do.	51,7	18 »				do.	58,6	2 »
Mittelwerte:								
Leinen gebleicht	45,1		Baumwolle gebleicht	44,7		Jägerstoff gewaschen	55,6	
Leinen ungebleicht	51,4					Jägerstoff ungewasch.	58,6	

B. Temperatur 6—7° C.

Leinen	Absorbierte Menge NH_3 in mg pro 1 g Stoff	Dauer der Einleitung	Baumwolle	Absorbierte Menge NH_3 in mg pro 1 g Stoff	Dauer der Einleitung	Wolle	Absorbierte Menge NH_3 in mg pro 1 g Stoff	Dauer der Einleitung
Leinen gebleicht	64,3	2 Std.	Baumwolle gebleicht	57,2	2 Std.	Jägerstoff gewaschen	76,4	2 Std.
do.	65,8	2 »	do.	58,4	2 »	do.	76,9	2 »
do.	62,2	3 »	do.	58,7	3 »	do.	78,0	2 »
do.	63,9	3 »	do.	57,0	3 »	do.	76,0	3 »
						do.	76,7	3 »
						do.	82,2	4 »
						do.	80,5	4 »
						do.	83,0	4 »
Mittelwerte:	64,0			57,8			78,7	

Aus der Tabelle IV folgt, dafs bei trockenem Ammoniak die Sättigung des Stoffes bei 20° und bei 7° in 2—4 Stunden erreicht ist und dafs eine 18 Stunden lange Exposition die Werte nicht verändert. Alle Stoffe absorbieren bei 7° etwa 130—140% der bei 20% gefundenen Mengen. Gebleichte Baumwolle und gebleichte Leinwand absorbieren bei 17° ungefähr die gleichen Ammoniakmengen, aber ungebleichte Leinwand, nimmt etwas gröfsere Mengen auf; bei 7° absorbierte auch gebleichte Leinwand etwas mehr als Baumwolle. Die Absorption der Wolle verhält sich zur Absorption der Baumwolle etwa wie 100 : 127 bei 20°, wie 100 : 136 bei 7°. Es ist also das von Kisskalt und Yokote gefundene Resultat, dafs die Wolle im allgemeinen das Doppelte absorbiert wie Baumwolle und Leinwand nur unter ihrer speziellen oben erwähnten Versuchsanordnung richtig.

Ich schliefse hier einige Versuche an über die Absorption von Ammoniak von trockenen Stoffen aus einem Luftstrom, der nur etwa 20% Ammoniak enthält. Einen solchen Luftstrom erhält man leicht, wenn man Luft in mäfsigem Strome durch eine nicht zu kleine, mit starkem Ammoniakwasser gefüllte Flasche saugt. Der Gehalt des Luftstromes wurde zu verschiedenendes Versuchs Zeiten untersucht, die Trocknung, wie oben beschrieben, sorgfältig durch Ätzkalk vorgenommen.

Tabelle V.

Ammoniak trocken, Stoffe trocken. Ammoniakgehalt des Luftstroms 20—21%. Dauer 2 Stunden. Temperatur 17°. Absorbierte Menge für 1 g Stoff.

Leinwand		Baumwolle		Wolle	
ungebleicht	17,0	gebleicht .	18,3	Wolle Jäger ungewaschen	24,9
	17,1		21,1		25,3
				Wolle Jäger gewaschen	20,8
					23,1
Mittel: Leinen ungebleicht	17,1	Baumwolle gebleicht .	19,7	Wolle Jäger gewaschen	21,9
				Wolle Jäger ungewaschen	25,1

Die absorbierte Menge beträgt bei 20% Ammoniak und trockener Luft rund 40% des Betrags, der bei 100% Ammoniakgehalt absorbiert wird, Leinwand und Baumwolle liefern wieder ähnliche Zahlen, ungewaschene Wolle absorbiert wieder etwa

28 Prozente mehr als Leinwand und Baumwolle, gewaschene liefert auffallend niedrige Zahlen.

IV. Erste eigene Versuche über die Absorption von feuchtem Ammoniak durch lufttrockene Stoffe bei verbesserter Versuchsanordnung.

Um die von Kisskalt und Yokote bearbeitete Frage, welche den Titel dieses Abschnittes bildet, mit strengeren Methoden zu fördern, gab es zwei Wege. Die erste Versuchsanordnung schlofs sich an die frühere Methode »Anwendung einer Ammoniakglocke« an. Jedes Stoffstückchen wurde aber in einem weithalsigen Wägeglas unter Abnahme des Deckels exponiert, und zwar in weiten Glasschalen, in die ein Ammoniakgefäfs gestellt, und die mit Filtrierpapier und einer Glasplatte zugedeckt wurden. Nach zweistündiger Versuchsdauer wurde Gläschen um Gläschen rasch herausgenommen und sofort die Deckel aufgesetzt. Die Wägegläschen wurden dann über einem Gefäfs mit verdünnter Schwefelsäure umgedreht, geöffnet und in dasselbe versenkt.

Die Methode war theoretisch nicht so genau wie die Röhrchenmethode, sie war auch nicht dazu bestimmt, die Einwirkung 100proz. Ammoniaks zu studieren, sie sollte vor allen Dingen als Kontrolle der Versuche von Kisskalt und Yokote unter verbesserter Methodik gelten.

Die technische Ausführung erwies sich als ziemlich bequem, grobe Fehler dürften nicht wohl dabei gemacht werden. Die Stoffstückchen wurden nur gemessen, das Trockengewicht berechnet und die Stoffe lufttrocken verwendet, ohne den Wassergehalt genau zu bestimmen.

(Siehe Tabelle VI auf S. 284.)

Die Versuche stimmen mäfsig, zeigen aber wieder deutlich, dafs man auch bei der Glockenmethode bei richtiger Arbeit für Baumwolle und Leinwand einerseits und Wolle anderseits Werte bekommt, die nicht erheblich auseinanderliegen. Der Unterschied beträgt höchstens 10—30%. — Yokotes absolut höchste

und meine niedrigsten Werte entsprechen sich etwa, meine höchsten sind bei der Baumwolle 2,5 mal, bei der Wolle 1,7 mal höher als die von Yokote.

Tabelle VI.

Ammoniak feucht ca. 20 proz. Stoffe lufttrocken (5—10% Wasser enthaltend). Temperatur 17°. Versuchsdauer $2\frac{1}{2}$ Stunden. Stoffe in liegenden Wägegläschen unter einer Glasglocke.

Ammoniakaufnahme in Milligramm pro 1 g Stoff.

Versuch				
I		Baumwolle gebleicht 26,6	Jägerstoff ungewasch. 28,1 28,1	Jägerstoff gewaschen 25,8 24,2
II		Baumwolle gebleicht 21,1	Jägerstoff ungewasch. 24,9 24,5	Jägerstoff gewaschen 19,1 21,5
III	Leinwand ungebleicht 26,7 26,7	Baumwolle gebleicht 23,2	Jägerstoff ungewasch. 34,0 34,0	
IV	Leinwand ungebleicht 28,5	Baumwolle gebleicht 25,4 25,4	Jägerstoff ungewasch. 28,1 28,0	

Da der Wassergehalt nicht genau bekannt und sicher ungleich war, ist auch der Ammoniakgehalt nicht ganz konstant.

Die Glockenmethode wurde nach diesen Ergebnissen von mir definitiv verlassen und die Röhrchenmethode mit Überleitung angewendet, und so zunächst Versuche mit 100% Ammoniak enthaltendem Gas angestellt. Die Proben wurden alle getrocknet gewogen und kamen dann 1 Stunde lang unter eine Glocke, unter der ein Gefäfs mit 10 ccm Ammoniak stand. Ich ging dabei noch von der Ansicht aus, dafs in dieser Zeit ein gröfserer Teil des hygroskopischen Wassers aufgenommen werde, und dafs die folgenden eigentlichen Versuchsstunden, in denen 2 Stunden lang feuchtes konzentriertes Ammoniakgas auf die Stoffe wirkte, ausreichen müfsten, um sowohl Wasser- als Ammoniakgehalt auf das Maximum zu bringen (vgl. S. 287). Der eigentliche Zweck dieser Vorexposition war aber ein anderer. Es war mir in den ersten Versuchen, in denen ich feuchtes gesättigtes Ammoniakgas über trockene Stoffe leitete, aufgefallen, dafs eine

sehr bedeutende Erwärmung des Stoffes stattfand, worüber in der folgenden Untersuchung nähere Mitteilungen gemacht werden. Diese Erwärmung läfst sich zum grofsen Teil verhindern, wenn man das konzentrierte Ammoniak erst über Stoffproben leitet, welche 1 Stunde lang unter einer feuchten Ammoniakglocke gelegen haben. Die Erwärmung wünschte ich zu vermeiden, um die Versuche bei einer möglichst konstanten Temperatur durchzuführen, und namentlich um Wasserkondensationen in und hinter den Versuchsröhrchen hintanzuhalten. — Die nach dieser Methode ausgeführten Versuche sind nicht sehr zahlreich, weil ich alsbald einsah, dafs sie auf einer falschen Voraussetzung beruhen, nämlich der, dafs sich die Stoffe dabei mit hygroskopischem Wasser sättigen. — Immerhin sind sie interessant im Vergleich zu den Versuchen, bei denen Stoffe nur 2 Stunden in einer feuchten Ammoniakatmosphäre gehalten und dann herausgenommen wurden.

Tabelle VII.

Getrocknete Stoffe erst 1 Stunde in ammoniakhaltigem feuchten Raum, dann 2 Stunden mit feuchtem 100proz. Ammoniak überströmt. Temperatur 17°.

Leinen ungebleicht	Baumwolle gebleicht	Jägerwolle gewaschen	Jägerwolle ungewaschen
68,8 68,0	60,0 60,4	84,7 85,3	84,1 84,5 84,6

Die Zahlen übertreffen bei weitem die in Tabelle II mit feuchtem Ammoniak und Herausnehmen erhaltenen Werte. Die Werte liegen für Leinwand und Baumwolle besonders hoch über dem dabei erhaltenen Durchschnitt, auch die Wollproben liefern wesentlich höhere Zahlen als die Durchschnittszahl; doch kommen ihnen einzelne der in Versuchsreihe II erhaltenen Werte schon einigermafsen nahe. Wieder ist der Unterschied in der Absorption von Wolle einerseits, Baumwolle und Leinwand anderseits nicht sehr beträchtlich.

Nach der gleichen Methode wurde auch für einen feuchten Ammoniakstrom von 21% Ammoniak ein zweistündiger Absorptionsversuch gemacht und gefunden für:

Leinwand ungebleicht		Baumwolle gebleicht		Jägerwolle gewaschen	
28,2	28,0	25,5	24,0	28,0	28,2,

Zahlen, welche wieder zwischen gebleichter Baumwolle und Wolle nur einen sehr kleinen Unterschied ergeben und recht gut zu den Versuchen mit liegenden Wägegläschen (Tab. VII) passen.

V. Neue Versuche über die Aufnahme von hygroskopischem Wasser durch Kleidungsstoffe.

Es war aus den vorhergehenden Versuchen unzweifelhaft klar, dafs es nicht genüge, bei den Versuchen mit feuchtem Ammoniakgas das Herausnehmen zu vermeiden, um richtige Resultate zu erhalten, sondern dafs es notwendig sei, die Versuche mit Stoffproben von ganz bestimmtem Wassergehalt vorzunehmen, und dazu lag es am nächsten, Proben zu wählen, die mit Wasserdampf vollständig gesättigt waren. Zu meinem Bedauern mufste ich bei meinen ersten eigenen Versuchen erfahren, dafs die Arbeiten von Klas Linroth[1]) und Bubnoff, die ich — wohl mit den Fachgenossen — für eine endgültige Lösung dieser scheinbar so einfachen Frage gehalten hatte, durchaus nicht ausreichen und in wesentlichen Punkten erweiterungsbedürftig sind.

Klas Linroth brachte unter Leitung von Pettenkofer Gewebsstücke von 150 qcm nach 1—2stündigem Trocknen bei 100° (wonach sie nur noch minimale Wassermengen enthielten) in Luft von bekannter relativer Feuchtigkeit und verschiedener Temperatur. Es interessieren uns im folgenden nur die Angaben, die bei gesättigter oder annähernd gesättigter Luft ausgeführt wurden.

S. 188 gibt er an, sich überzeugt zu haben, dafs in etwa 15 Stunden alles Wasser aufgenommen werde, was der Stoff hygroskopisch zu binden vermag — er exponierte deshalb seine Stoffe mindestens 15, höchstens 20 Stunden.

Er fand so in Prozenten des Trockengewichtes (S. 190 und 195).

1) Zeitschr. f. Biologie, XVII, S. 184 (1881).

Temp.	Feuchtigkeit der Luft	Flanell	Leinwand	Baumwolle
bei 15,5°	97 %	21,7	13,4	15,4
» 7,8°	98 %	22,5	14,2	15,5
» 18,9°	98 %	23,5	13,3	12,8
	94 %	21,3	13,2	13,7
	94 %		14,8	12,8

Nach Linroth nehmen die Stoffe ungemein rasch Wasser aus feuchter Luft von 95% auf (im Keller angestellt bei 3—8°). Die Aufnahme betrug:

		Wolle			Leinwand			Baumwolle	
Nach 10 Min.		7,6	35 %		3,1	23 %		5,5	41 %
» 10 »		11,4	17 »		5,0	13 »		7,7	16 »
» 10 »		13,7	11 »		6,3	10 »		8,6	7 »
» 10 »		15,0	6 »		7,3	8 »		9,2	4 »
» 10 »		15,9	4 »		7,8	4 »		9,6	3 »
» 10 »	also nach 1 Std.	16,7	4 » (77)		8,4	4 » (62)		9,8	2 » (73)
» 10 »		17,1	2 »		8,8	3 »		10,0	1 »
» 10 »		17,5	2 »		9,1	2 »		10,2	2 »
» 10 »		17,8	2 »		9,1	— »		10,3	1 »
» 10 »		18,0	1 »		9,4	2 »		10,4	1 »
» 10 »		18,2	1 »		9,6	2 »		10,4	— »
» 10 »	also nach 2 Stdn.	18,4	1 » (86)		9,9	2 » (73)		10,5	1 » (79)
» 30 »		19,1	2 »		10,3	4 »		10,7	1 »
» 30 »	also nach 3 Stdn.	19,6	2 » (90)		10,7	3 » (80		10,7	— » (80)
» 30 »		19,8	2 »		11,0	2 »		10,8	1 »
» 30 »	also nach 4 Stdn.	20,3	1 »		11,3	2 »		11,1	2 »
» 30 »		20,6	1 »		11,5	1 »		11,2	— »
» 30 »	also nach 5 Stdn.	20,8	1 »		11,6	1 »		11,3	1 »
» 1 Std.	also nach 6 Stdn.	21,0	1 »		12,1	3 »		11,4	1 »
» 1 »	also nach 7 Stdn.	21,1	1 »		12,1	1 »		11,6	1 »
Nach weiteren 6 Stunden	also nach 13 Stdn.	21,8	3 »	nach weiteren 8 Stdn. also nach 14 Stdn.	13,4	10 »	nach weiteren 8 Stdn. also nach 15 Stdn.	13,5	14 »
			100 %			100 %			100 %

Oder kurz: es wurden in 10 Min. 23—41%, in 1 Stunde 62—77%, in 2 Stunden 73—86%, in 3 Stunden 80—90% des Gesamtwassers aufgenommen.

Die Versuche von Boubnoff[2]), auf die ich hier nicht näher einzugehen brauche, ergaben, soweit sie vergleichbar sind, meist noch niedrigere Wasseraufnahmen, namentlich für Wolle.

Die beiden Experimentatoren haben die Untersuchungen viel zu früh abgebrochen und leider auch nicht mit ganz gesättigter Luft gearbeitet. Meine Untersuchungen geben erstaunlich viel höhere Werte.

Ich teile zunächst zwei Versuchsreihen bei 6° und 20° mit, in denen die Stoffstückchen frei in grofsen Glasgefäfsen, in denen längere Zeit vorher Wasser gestanden hatte, aufgehängt wurden. Es wurde peinlich auf Konstantbleiben der Temperatur, Vermeiden von Kondensationen und rasches Einbringen der Stoffstücke in und aus den Wägegläschen geachtet.

(Siehe Tabelle VIII u. IX auf S. 289.)

Das heifst: unabhängig, wie es scheint, von der Temperatur, jedenfalls in den Grenzen von 6 und 20°, nur sehr unwesentlich davon beeinflufst, dauert die Wasserdampfaufnahme bis zur Sättigung etwa 96 Stunden, wenn die Läppchen frei aufgehängt sind. Die absolute Wasseraufnahme beträgt für:

Leinen . . .	24,4—25%
Baumwolle .	22,9—23 »
Wolle . . .	31,4—31,5%

Es ist nach diesen Versuchen nichts Sicheres darüber zu sagen, ob nicht noch eine Kleinigkeit Wasser mehr aufgenommen werden kann — bei 1—2% Wassergehalt mehr war allerdings schon Kondensation zu beobachten.

Die Wasseraufnahme geht in einer Kurve vor sich, von der bisher nur der steil aufsteigende Anfangsteil bekannt war.

Die Wasseraufnahme der trockenen Stoffe:

Baumwolle: Leinen verhält sich wie 100 : 107
» Wolle » » » 100 : 136.

1) Archiv f. Hygiene, Bd. I, 1883.

Tabelle VIII.

Wasseraufnahme aufgehängter Proben bei 100 % relat. Feuchtigkeit bei 6°.

		Leinen (gebleicht)	Baumwolle (gebleicht)	Wolle (gewaschen)
		%	%	%
Nach 1/2 Std.	a)	5,3	6,8	8,2
	b)	5,9	7,4	8,9
» 1 »	a)	7,9	9,4	11,1
	b)	7,9	8,9	11,3
» 1 1/2 »	a)	9,5	10,5	13,0
	b)	9,5	9,9	13,0
» 2 »	a)	10,2	11,1	13,9
	b)	10,4	10,7	14,0
» 4 »	a)	11,3	12,2	17,2
	b)	12,0	12,4	17,3
» 24 »	a)	18,9	18,4	26,5
	b)	18,6	18,4	25,4
» 48 »	a)	22,5	20,6	29,5
	b)	22,1	20,8	28,8
» 72 »	a)	23,4	22,2	31,2
	b)	23,1	22,2	30,9
» 96 »	a)	24,5	22,8	31,4
	b)	24,3	23,2	31,4
» 120 »	a)	25,3	24,0	34,3 [1]
	b)	25,1	24,7	34,1
Mittelwerte nach 96 Std.		24,4	23,0	31,4

Tabelle IX.

Wasseraufnahme aufgehängter Proben bei 100 % relat. Feuchtigkeit bei 20°.

		Leinen gebleicht	Baumwolle gebleicht	Wolle gewaschen
		%	%	%
Nach 1/2 Std.	a)	6,2	6,5	9,8
	b)	6,6	6,3	10,0
» 1 »	a)	7,3	7,2	11,0
	b)	7,6	7,3	11,2
» 1 1/2 »	a)	8,7	8,2	14,0
	b)	8,9	8,3	13,9
» 2 »	a)	9,4	9,2	15,0
	b)	9,6	9,0	14,9
» 24 »	a)	19,6	18,7	26,5
	b)	19,5	18,0	25,7
» 48 »	a)	22,1	—	29,3
	b)	22,4	21,2	29,5
» 72 »	a)	23,5	—	30,9
	b)	24,0	22,2	30,9
» 96 »	a)	24,5	—	31,9
	b)	25,5	22,9	31,1
» 120 »	a)	27,0	—	34,1 [2]
	b)	28,6	25,1	32,8
Mittelwerte nach 96 Std.		25,0	22,9	31,5

Es ist vielleicht kein Zufall, dafs sich auch die relative Ammoniakaufnahme der trockenen Stoffe sehr ähnlich verhält:

Baumwolle: Leinen	bei 20°	wie 100 : 101	im Mittel
	» 6°	» 100 : 111	100 : 106,0
Baumwolle: Wolle	» 20°	» 100 : 127	im Mittel
	» 6°	» 100 : 136	100 : 131,5

Ich mufs hier noch anführen, dafs ich noch eine gröfsere Anzahl von Wasseraufnahmeversuchen mit der Methode angestellt

1) Auf den Gefäfswänden leichte Kondensation!

2) Starke Kondensation.

habe, nach der ich die Ammoniakaufnahme studierte — die Proben einzeln eingeschlossen in kleine Röhrchen und eine grofse Anzahl solcher Proben nebeneinander in den mit Wasser gesättigten Luftstrom eingeschaltet. Im allgemeinen fand ich so die Wasseraufnahme verlangsamt, was zwar bei niederer Temperatur für die ersten Stunden verständlich ist, aber nicht für die späteren Stunden. Um auf die Erscheinung Wert zu legen, sind aber meine Versuche doch nicht methodisch genug angestellt. Die Endwerte stimmten befriedigend mit denen überein, welche die einfache eben geschilderte Methode geliefert hat.

VI. Endgültige Versuche über die Aufnahme von Ammoniak durch Stoffe mit bekanntem hygroskopischem Wassergehalt und Erklärung der aufgenommenen Mengen.

Nachdem die letzterwähnten Versuche des vorigen Abschnitts mir als Endprodukt mit vollem, hygroskopischem, genau bekanntem Wassergehalt beladene, in Röhrchen eingeschlossene Stoffproben geliefert hatten, war es ein leichtes, dieselben durch Überleiten von feuchtem, wassergesättigtem, luftfreiem Ammoniakgas zu sättigen. 2 Stunden genügten absolut dazu. Man macht die Ammoniaküberleitung am besten so, dafs man die Röhrchen mit den Stoffproben erst unter eine Ammoniakglocke bringt und dann etwa 1 Stunde später Ammoniak durchleitet, indem man das Röhrchen mit feuchtem Fliefspapier kühlt, um ein Erhitzen und damit Wasserverdampfen und Wasserdampfverlieren zu vermeiden. Bei den ersten Versuchen wurde diese Vorsicht noch nicht angewandt und dabei deutlich etwas Wasser verloren, das sich in den Ableitungsröhren in feinen Tröpfchen niederschlug.

Die Ammoniakaufnahme wurde durch Titrierung unter den S. 276 gegebenen Vorsichtsmafsregeln ermittelt und durch Wägung kontrolliert — wobei die Verdrängung von Luft durch Ammoniak im Rohr berücksichtigt wurde. In die Tabelle wurde zum Vergleich mit der pro Gramm Stoff beobachteten Ammoniakzahl die Menge eingesetzt, welche der trockene Stoff und das von ihm gebundene hygroskopische Wasser einzeln binden müfsten, wenn sie beide sich in ihrem Bindungsvermögen nicht beeinflufsten.

Tabelle X.

Ammoniakaufnahme durch Stoffe mit genau bekanntem Gehalt an hygroskopischem Wasser. Milligramm pro 1 g trockenem Stoff.

a) Stoffe mit vollem Wassergehalt.

Leinen	Hygroskopisch. Wasser	Absorbierte NH_3-Menge	1 g trockener Stoff kann absorbieren NH_3	Das hygroskop. Wasser hat also absorbiert NH_3	Theoret. könnte das hygr. Wasser absorbier. NH_3	Baumwolle	Hygroskopisch. Wasser	Absorbierte NH_3-Menge	1 g trockener Stoff kann absorbieren NH_3	Das hygroskop. Wasser hat also absorbiert NH	Theoret. könnte das hygr. Wasser absorbier. NH_3	Wolle	Hygroskopisch. Wasser	Absorbierte NH_3-Menge	1 g trockener Stoff kann absorbieren NH_3	Das hygroskop. Wasser hat also absorbiert NH_3	Theoret. könnte das hygr. Wasser absorbier. NH_3	
Leinen ungebleicht	227	227,0	64,0	163,0	170,3	Baumw. gebleicht	225	194,9	57,8	137,1	168,8	Jägerstoff ungewasch.	292	262,0	80,0	182,0	219,0	Einleitungsdauer von NH_3: 2 Std. Temperatur in den Absorptionsröhrchen 7° C.
do.	226	233,6	64,0	169,6	169,5							do.	300	261,3	80,0	181,3	225,0	
												Jägerstoff gewaschen	295	255,6	78,7	176,9	221,8	
												do.	316	255,6	78,7	176,9	237,0	
do.	235	239,1 [1])	64,0	175,1	185,7	do.	196	203,4 [2])	57,8	145,6	154,8	Jägerstoff ungewasch.	287	281,7 [3])	80,0	201,7	226,7	Einleitungsdauer: 2 Std. Temp. 5° C gearbeit. mit besonderer Sorgfalt.
												Jägerstoff gewaschen	291	288,4 [4])	78,7	209,7	229,9	

b) Stoffe mit geringerem Wassergehalt.

Leinen	Hygroskopisch. Wasser	Absorbierte NH_3-Menge	1 g trockener Stoff kann absorbieren NH_3	Das hygroskop. Wasser hat also absorbiert NH_3	Theoret. könnte das hygr. Wasser absorbier. NH_3	Baumwolle	Hygroskopisch. Wasser	Absorbierte NH_3-Menge	1 g trockener Stoff kann absorbieren NH_3	Das hygroskop. Wasser hat also absorbiert NH	Theoret. könnte das hygr. Wasser absorbier. NH_3	Wolle	Hygroskopisch. Wasser	Absorbierte NH_3-Menge	1 g trockener Stoff kann absorbieren NH_3	Das hygroskop. Wasser hat also absorbiert NH_3	Theoret. könnte das hygr. Wasser absorbier. NH_3	
Leinen ungebleicht	86	126,7	64,0	62,7	64,5	Baumw. gebleicht	68	105,0	57,8	47,2	51,0	Jägerstoff ungewasch.	124	157,2	80,0	77,2	93,0	Temp. 7° C. Einleitungsdauer: 28 Std.
do.	81	127,0	64,0	63,0	60,8	do.	75	106,2	57,8	48,4	56,3	do.	121	164,1	80,0	84,1	90,8	18 Std.
												Jägerstoff gewaschen	114	151,8	78,7	73,1	85,5	

Durch Wägung: 1) = 220,0
2) = 211,1
3) = 295,0
4) = 286,4

Die Übereinstimmung der theoretischen und gewogenen Werte ist nicht so ideal wie die der theoretischen und titrierten. Es erklärt sich dies aus den mannigfachen Fehlerquellen der Wägemethode, wenn Kombinationen von Glasröhren, Gummistöpseln und -Schläuchen gewogen werden.

Aus diesen Zahlen folgt einwandfrei, dafs alle bisherigen Versuche (S. 285) über die Aufnahme feuchten Ammoniaks durch Stoffe nicht die endgültigen, sondern sehr viel zu niedrige Werte ergeben haben, weil die Stoffe nicht mit Wasser gesättigt waren, sondern offenbar ganz wechselnde Mengen davon enthielten. Zweitens tun sie dar, dafs das absorbierte Ammoniakgas seiner Menge nach ziemlich genau dem Quantum entspricht, das der trockene Stoff bindet, plus dem, welches das hygroskopische Wasser binden kann. In einer Anzahl von Versuchen, namentlich bei Leinwand, stimmt die gefundene Zahl fast absolut genau mit der berechneten zusammen, aber auch in den »mit besonderer Sorgfalt« gearbeiteten Baumwoll- und Wollversuchen ist die Differenz bescheiden, und zwar hätten stets noch einige Milligramm Ammoniak mehr absorbiert werden können. Ich erkläre das Zurückbleiben der gefundenen hinter den berechneten Werten wohl unzweifelhaft richtig mit der Annahme, dafs trotz der Kühlung der Proben die Erwärmung beim Zusammentreffen von Ammoniak und feuchtem Stoff ausreichte, um einige Milligramm Wasser zu verdunsten — somit die Menge des theoretisch aufnehmbaren Ammoniaks sich sofort mindert. Ich glaube deshalb zu dem Schlusse berechtigt zu sein: Stoffe, welche hygroskopisches Wasser enthalten, nehmen von Ammoniakgas die Summe der Mengen auf, welche der trockene Stoff und das absorbierte Wasser, jedes einzeln, zu binden imstande ist. Für die Ammoniakaufnahme verhält sich das hygroskopische Wasser nicht anders als das zwischengelagerte, was wohl theoretisches Interesse hat.

VII. Einige Versuche über die Absorption von Chlorwasserstoffsäure von trockenen und feuchten Stoffen.

Es war natürlich mein Wunsch, mindestens noch an einem anderen Gas die beim Ammoniak gefundenen Tatsachen zu prüfen.

Ich wählte Salzsäure, weil auch dieses Gas stark in Wasser löslich ist, und die Versuche von Kisskalt gezeigt hatten, dafs es ziemlich energisch absorbiert wird. Die Versuchsanordnung

war die beim Ammoniak erprobte: Einschliefsen der trockenen oder vorher maximal mit Wasserdampf gesättigten Proben in Einzelröhrchen, Überleiten von Chlorwasserstoffgas in trockenem oder feuchtem Zustand über die Proben. Der Salzsäuredampf wurde teils durch Erhitzen von Kochsalz mit konzentrierter Schwefelsäure, teils — später — durch Eintropfen von konzentrierter Schwefelsäure in rauchende Salzsäure hergestellt, die zweite Methode ist viel bequemer. Da Kisskalt fand, dafs die Salzsäureaufnahme nicht in 1—2 Stunden beendet ist, so leitete ich den Salzsäurestrom stundenlang über die Proben. Die abgesperrten Einzelgläschen wurden über Wasser geöffnet und die Säure mit Wasser absorbiert, hierauf ein aliquoter Teil mit Natronlauge titriert, Indicator Luteol. Zu den Wollzahlen wurde pro Gramm Wolle die Anzahl Milligramm Salzsäure (5,7) addiert, die ein Wollstückchen in der für die Bestimmung nötigen Zeit aus Salzsäurelösung von der hier vorkommenden Konzentration zum Verschwinden bringt.

Tabelle XI.
Stoffe trocken, H Cl trocken. Temperatur 16—18° C.

Leinen	Absorbierte Menge H Cl in mg pro 1 g Stoff	Baumwolle	Absorbierte Menge H Cl in mg pro 1 g Stoff	Wolle	Absorbierte Menge H Cl in mg pro 1 g Stoff	Dauer der Exposition
Leinen gebleicht	29,9	Baumwolle gebleicht	29,3	Jägerstoff gewaschen	154,2	4 Stdn.
do.	39,0	do.	40,9	do.	169,8	7 »
do.	42,6	do.	38,7	do.	166,0	
do.	40,8	do.	42,6	do.	174,0	
do.	44,1	do.	45,0	do.	171,6	10 »
do.	41,4	do.	48,7	do	174,1	
Mittel der 7- u. 10-stünd. Versuche	41,6		43,0		171,1	

Hieraus ergibt sich, dafs in 7 Stunden — aber noch nicht in 4 Stunden — die Absorption von Chlorwasserstoff beendet zu sein scheint. Die Werte für Leinen und Baumwolle sind nicht nennenswert verschieden — die Zahlen für Wolle rund viermal

so hoch. Im Zusammenhalt mit den Ammoniakversuchen könnte man daraus schliefsen, dafs bei der Wolle mindestens teilweise eine chemische Anlagerung Platz greift, was bei dem Charakter der Wolle als Amidosäure verständlich ist. Das Aussehen der trockenen Stoffe in trockener Salzsäure war ganz unverändert.

Tabelle XII.

Chlorwasserstoffaufnahme durch Stoffe mit genau bekanntem Gehalt an hygroskopischem Wasser. Milligramm pro 1 g trockenem Stoff.

	Hygroskopisch. Wasser	Absorbierte HCl-Menge	1 g trockener Stoff kann absorbieren HCl	Das hygroskop. Wasser hat also absorbiert HCl	Theoret. könnte das hygr. Wasser absorb. HCl	
Leinen geklärt	245	267,7	40,8	226,9	176,4	
Baumwolle gebleicht . .	240	250,1	40,7	209,3	172,8	
» » . .	202	217,3	40,7	169,4	145,4	Einleitungsdauer von HCl: 6 Stdn. Temperatur 18° C.
Jägerstoff gewaschen . .	303	391,3	169,9	221,4	218,2	
» » . .	311	411,8	169,9	241,9	223,9	

Die Versuche mit Aufnahme von Salzsäure durch feuchte Stoffe ergaben, dafs sämtliche Stoffe etwas mehr Salzsäure absorbieren, als der trockene Stoff + dem hygroskopischen Wasser aufnehmen kann, bei Leinen und Baumwolle ist das Plus erheblich, bei Wolle fällt es einmal in die Fehlergrenzen.

Da feuchte Zellulose von Salzsäure mürb gemacht = karbonisiert wird, was in meinen Versuchen auch hervortrat, so ist damit eine chemische Bindung ohne weiteres klar — ich bin auf das nähere Studium des Verhaltens der Stoffe zur Salzsäure nicht näher eingegangen, nachdem sich gezeigt, dafs chemische und physikalische Prozesse sich hier durchkreuzen.

Die Temperatursteigerung der Textilfasern durch den Einflufs von Wasserdampf, Ammoniak, Salzsäure und einigen anderen Gasen.

Von

Prof. Dr. **K. B. Lehmann.**

(Zum Teil unter Mitwirkung des Herrn Dr. **Bruno Bitter** aus Osnabrück.)

(Aus dem hygienischen Institut in Würzburg.)

I. Einleitung.

Bei den in der vorhergehenden Arbeit dargelegten Versuchen fiel es mir sehr bald auf, dafs Stoffproben, über die man Ammoniakgas leitete, sich erheblich und für die Hand fühlbar erhitzten. Die ersten flüchtigen Experimente zeigten, dafs der Versuch sowohl mit trockenen als lufttrockenen und feuchten Stoffen gelingt. Sie zeigten aber auch, dafs sich trockene Stoffe schon in einer Wasserdampfatmosphäre erwärmen.

Da mir nur bekannt war, dafs Rubner bei seinen Desinfektionsversuchen gefunden hatte, dafs sich Stoffe im Wasserdampfstrom von 100°, und zwar durch Wasserdampfkondensation, auf eine Temperatur von 141° erwärmen können, mir aber sonst keine Angaben erinnerlich waren, welche über analoge Vorgänge an Textilstoffen berichteten, so beschlofs ich zunächst der Frage mindestens soweit nahe zu treten, als notwendig war, um die tatsächlichen Verhältnisse einwandfrei festzustellen.[1])

1) An diesem Teil der Arbeit hat Herr Dr. Bruno Bitter eifrig teilgenommen, die Mehrzahl der im folgenden erwähnten Beobachtungen über

Zu meiner Freude liefs sich aber auch eine sehr plausible Erklärung für die Temperatursteigerung teils beweisen, teils höchst wahrscheinlich machen. Als alle Hauptresultate der Arbeit erhalten waren, teilte mir Herr Dr. Overton mit, dafs die Literatur aus neuester Zeit einige Angaben enthalte, die sich mit den von mir gemachten Beobachtungen berühren. Ich werde auf diese Angaben zurückkommen im Schlufskapitel, nachdem ich meine Beobachtungen in möglichster Kürze geschildert habe.

II. Methodik.

Die Mehrzahl der Versuche ist in der einfachsten Weise folgendermafsen ausgeführt:

Die Kugel eines Thermometers, das durch einen grofsen Gummistöpsel geschoben war, wurde mit so viel von dem lufttrockenen Stoffe umwickelt, dafs er nach dem Trocknen 2 g wog. Das Umwickeln wurde im Anfang teils locker teils fest auszuführen versucht. Wir verzichteten aber später ganz auf die Versuche mit lockerer Umwickelung und benutzten nur die mit fester Umwickelung, da ein »lockeres« Umwickeln sehr schwer gleichmäfsig durchzuführen war. Die umwickelten Thermometer kamen nach dreistündiger Trocknung in einen grofsen Exsikkator über Chlorkalzium, wo man sie erkalten liefs.

Der Versuch bestand nun darin, dafs in eine entweder mit trockenem oder mit feuchtem Ammoniak oder nur mit feuchter Luft gefüllte Flasche von 250 ccm Inhalt der getrocknete Stöpsel rasch eingesteckt wurde, binnen 2, höchstens 4 Minuten erreichte die Temperatursteigerung ihr Maximum und wurde notiert. In vielen Fällen wurde auch der Gang der Temperatursteigerung aufgeschrieben.

Temperatursteigerung hat er teils mit mir zusammen, teils allein ausgeführt, und in seiner Dissertation darüber noch ausführlicher berichtet als es hier nötig schien. — Am zweiten Teil der Arbeit, welcher die Erklärung der beobachteten Temperatursteigerungen erstrebte, hat Herr Dr. Bitter nicht mehr teilgenommen.

Ich teile aber von diesen Protokollen nur einige ausgewählte mit, da ich nicht in der Lage bin, nähere Schlüsse daraus ziehen zu können, und begnüge mich im übrigen damit, die Gesamtergebnisse in einigen Tabellen übersichtlich zusammenzustellen.

Von Kleidungstoffen fanden Verwendung:

1. Wollgarn,
2. ungesponnene Schafwolle,
3. lose, japanische, ungesponnene Seide,
4. lose entfettete Baumwollwatte,
5. käuflicher roher Flachs,
6. zu Fäden geschnittene, gewaschene und gebleichte Leinwand.

Zum Vergleich haben wir einige wenige Versuche mit Glaswolle und Asbest ausgeführt. Auch sind einige orientierende Versuche über die Einwirkung von Salzsäuregas, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff auf Textilfasern durchgeführt. Die Füllung der Flasche mit Ammoniak geschah nach der in der vorhergehenden Arbeit beschriebenen Methode. Wir dürfen annehmen, dafs das Ammoniakgas am Versuchsbeginn immer annähernd luftfrei war.

Bei den Versuchen mit feuchter Luft kamen einfach in das Glasgefäfs einige Stunden vor dem Versuch einige Kubikzentimeter Wasser.

Die Füllung der Flasche mit Salzsäure, Schwefelwasserstoff und Kohlensäure geschah ebenfalls nach den bekannten Methoden.

Um die Temperatur des Gases in den vorbereiteten Flaschen zu kontrollieren, hielten wir sie, bevor wir die Stoffprobe einsenkten, mit Gummistöpseln verschlossen, welche ebenfalls Thermometer trugen. Es konnte auf diese Weise die Anfangstemperatur des Gases genau bestimmt werden, und es wurde dafür gesorgt, dafs das umwickelte Thermometer mit der gleichen Temperatur in die Versuchsflasche eingesenkt wurde.

In einer Reihe von Versuchen, welche speziellen Zwecken dienten, wurde eine etwas umständlichere Methodik angewendet,

die auf S. 303 beschrieben ist. Ich war mir vollkommen klar, dafs die angewendete Methode nur orientierende Werte geben konnte. Es zeigte sich aber, dafs die erhaltenen Zahlen sehr gut dem entsprachen, was die in Abschnitt V aufgestellte Theorie der Erscheinung verlangt.

III. Ergebnisse der Ammoniakversuche.

1. Einige ausgewählte Versuchsprotokolle über die Steigerung der Temperatur von Textilstoffen in Ammoniakgas.

Tabelle I.

I. NH_3 trocken, Stoffe trocken. Flachs.

Minuten	Grade
0	20
1/4	22
1/2	25
3/4	26
1	27
1 1/4	28
1 1/2	29,5
1 3/4	30
2	31
2 1/4	31,5
2 3/4	32
3 1/2	32,5

II. NH_3 trocken, Stoffe lufttrocken (ca. 5% Wasser). Watte.

Minuten	Grade
0	21
1/4	28
1/2	33
3/4	35
1	37

III. NH_3 trocken, Stoffe angefeuchtet. Watte.

Minuten	Grade
0	20
1/2	21
3/4	22
1	24
1 1/4	25
1 3/4	26
2	27
2 1/2	28
3	29
4	30

V. NH_3 feucht, Stoffe lufttrocken (ca. 5% Wasser). Watte.

Minuten	Grade
0	19
1/4	25
1/2	33
3/4	35
1	36

IV. NH_3 feucht, Stoffe trocken. Wolle (Haar).

Minuten	Grade
0	19
1/4	20,5
1/2	21
3/4	22
1	23
1 1/4	23,5
1 1/2	24
1 3/4	25
2	25,5
2 1/4	26
2 1/2	26,5
2 3/4	27
3 1/4	27,5
3 1/2	28
4	28,5
4 1/2	29
5	29,5
5 1/2	30

2. Versuche mit trockenem Ammoniakgas.

Tabelle II.

NH_3 trocken Stoffe getrocknet	Temperatur-erhöhung in Graden	Steigerung läfst nach	Steigerung hört auf	NH_3 trocken Stoffe lufttrocken d. h. ca. 5% Wasser enthaltend	Temperatur-erhöhung in Graden	Steigerung läfst nach	Steigerung hört auf	NH_3 trocken Stoffe mit Wasser angefeuchtet und ausgedrückt	Temperatur-erhöhung in Graden	Steigerung läfst nach	Steigerung hört auf
		nach Minuten				nach Minuten				nach Minuten	
Wolle Garn mittelfest	9			Wolle Garn	18,5	1¼ bis 1½	1½	Wolle Garn	22	1¾	1¾
» » fest	10			» »	17			» »	22		
» » »	10	2 bis 3	3,5 bis 5								
» » »	10										
» » »	11										
» » »	10,5			Wolle Haar	17,5	1¼ bis 1½	1½	Wolle Haar	24	1½ bis 1¾	1½ bis 1¾
» » »	10			» »	17			» »	23		
Baumwolle Watte fest	12	2	3,5 bis 4	Baumwolle	16,5	1	1	Baumwolle	11	2 bis 3½	3½ bis 4
» » mittelf.	11			»	16			»	10		
» » fest	10,5										
Flachs fest	14	2	2,75 bis 3,5	Flachs	23	1¼	1¼	Flachs	19	2 bis 2¼	2 bis 2¼
» »	12,5			»	22			»	17		
Leinwand in Fäden geschnitten, fest	11,75	1¼	2¼ bis 3½	Leinwand in Fäden geschnitten	22	1	1	Leinwand in Fäden geschnitten	13	2 bis 2¼	2 bis 2¼
Leinwand in Fäden geschnitten, locker	10			Leinwand in Fäden geschnitten	22			Leinwand in Fäden geschnitten	13		
Seide fest	13	3¼	4	Seide	20,5	1	1	Seide	18,5	2½ bis 2¾	2½ bis 2¾
» locker	10,5			»	20			»	18		

3. Versuche mit feuchtem Ammoniakgas.

Tabelle III.

NH_3 feucht Stoffe getrocknet	Temperatur-erhöhung in Graden	Steigerung läfst nach (nach Minuten)	Steigerung hört auf (nach Minuten)	NH_3 feucht Stoffe lufttrocken d. h. mit ca. 5% Wasser	Temperatur-erhöhung in Graden	Steigerung läfst nach (nach Minuten)	Steigerung hört auf (nach Minuten)	NH_3 feucht Stoffe mit Wasser angefeuchtet und ausgedrückt	Temperatur-erhöhung in Graden	Steigerung läfst nach (nach Minuten)	Steigerung hört auf (nach Minuten)
Wolle Garn fest . . .	11,25			Wolle Garn	20			Wolle Garn	26	2 bis 3	2 bis 3
» » » . . .	11			» »	19			» »	26		
» » locker . .	11,5					1½	1½				
Wolle Haar fest . . .	13,75		5 bis 6	Wolle Haar	17			Wolle Haar	27	2 bis 2½	2 bis 2½
» » » . . .	13	3		» »	16,5			» »	26		
» » » . . .	12,5										
» » » . . .	12										
» » » . . .	11,5										
» » » . . .	11										
» » » . . .	10										
Baumwolle fest . . .	15,5	2 bis 3	3½ bis 5	Baumwolle	17	1	1	Baumwolle	16,25	3	5¾ bis 6
» » . . .	14,75			»	17			»	16		
» mittel . .	13,5			»	17			»	16		
» locker . .	12,0										
Flachs locker	14	2	3½ bis 4½	Flachs	21	1¼ bis 1¾	1¼ bis 1¾	Flachs	20	2 bis 2½	2 bis 2½
» fest	12,75			»	20			»	19		
» »	14										
Leinwand in Fäden geschnitten, locker . .	14	1¾ bis 2	2½ bis 4	Leinwand in Fäden geschnitten	20	1	1	Leinwand in Fäden geschnitten	13	1¾ bis 2	1¾ bis 2
Leinwand in Fäden geschnitten, fest . . .	11			Leinwand in Fäden geschnitten	19			Leinwand in Fäden geschnitten	12		
Leinwand in Fäden geschnitten, fest . . .	10										
Seide fest	16,5	2¼	4½ bis 5	Seide	17,5	1¼	1¼	Seide	17,5	2½ bis 3	2½ bis 3
» »	16			»	16			»	16		
» locker	12										

IV. Diskussion der Ergebnisse der Ammoniakversuche.

Betrachten wir zunächst die Versuche mit getrocknetem Ammoniak. Sind auch die Stoffe getrocknet, so beträgt die Temperaturzunahme für:

Wolle	Baumwolle	Leinwand	Flachs	Seide
9—11°, meist 10°	10,5—12°	10—11¾°	12½—14°	ca. 13°,

d. h. die beobachteten Zahlen sind nicht so sehr wesentlich verschieden; immerhin läfst sich sagen, dafs die Zahlen für Wolle fast durchweg etwas niedriger sind als wie die für die übrigen untersuchten Fasern. Die Geschwindigkeit der Temperaturzunahme ist auch ziemlich gleich; nur scheint bei Baumwolle und Leinwand meist etwas rascher als bei Wolle und Seide die Temperatursteigerung einzutreten. Die höchste Temperatur ist bei allen Stoffen in 2¼—5 Minuten erreicht.

Die Versuche mit trockenem Ammoniak und lufttrockenen Stoffen ergaben wesentlich höhere Zahlen als unter Verwendung trockener Stoffe, und zwar im allgemeinen um 5—10°. Auch findet die Steigerung viel rascher statt als bei den getrockneten Stoffen. Schon nach 1—1½ Minuten war das Maximum erreicht, und unmittelbar nachher trat auch wieder ein Fallen ein. Die Werte für Flachs, Leinwand und Seide sind hier erheblich höher wie die für Wolle, meist um 3—5°, wogegen die Werte für Baumwolle eher um eine Kleinigkeit niedriger sind als die für Wolle.

In einigen Versuchen untersuchte ich den Einflufs von trockenem Ammoniak auf wirklich mit Wasserdampf gesättigte Stoffe, d. h. Stoffe, die bei konstanter Temperatur ca. 8 Tage in einem mit Wasserdampf gesättigten Raume gelegen hatten (vgl. S. 286), die Temperatursteigerung betrug für 2 g Wolle 22°, die höchste Steigerung, die Baumwolle und Ammoniak überhaupt lieferten (hierfür ist keine Tabelle da).

In einer vierten Versuchsreihe wurden die Stoffe mit Wasser direkt angefeuchtet und trockenem Ammoniak ausgesetzt. Hierdurch wurde die Temperaturbildung stark beeinflufst. Befeuchtete und gut ausgetrocknete Wolle lieferte nun weitaus die

höchsten Werte, und zwar 22—24° Temperatursteigerung, während Flachs und Seide nur 17—19°, Leinwand nur 13, Baumwolle gar nur 10—11° Temperatursteigerung erfuhren. Die Zeit, die zu der Erreichung der Maximaltemperatur notwendig war, war bei Wolle in befeuchtetem Zusand besonders klein, $1\frac{1}{2}$—$1\frac{3}{4}$ Minuten, währenddem die anderen Stoffe 2—3, die Baumwolle sogar $3\frac{1}{2}$ bis 4 Minuten brauchte, ehe sie zögernd das Maximum erreichte.

Ehe wir weitere Schlüsse aus diesen Befunden ziehen, wollen wir noch einen Blick auf die Tabelle III werfen, wo die Stoffe in getrocknetem, lufttrockenem und angefeuchtetem Zustand in ihrem Verhalten gegen feuchtes Ammoniak untersucht sind.

Das Verhalten der getrockneten Stoffe gegen feuchtes Ammoniak läfst sich dahin zusammenfassen, dafs die Temperatursteigerung im allgemeinen etwas gröfser ist als wie in trockenem Ammoniak. Meist liegen die Werte etwa um 1—3° höher.

Die lufttrockenen Stoffe zeigten gegen feuchtes Ammoniakgas etwa das gleiche Verhalten wie gegen trockenes, wieder wurde ein wesentlich rascheres und höheres Steigen des Thermometers als wie bei den getrockneten Stoffen beobachtet. Es sind die absoluten Zahlen und die Raschheit des Anstiegs fast identisch mit denen bei Anwendung von trockenem Ammoniak.

Die angefeuchteten Stoffe gaben in feuchtem Ammoniak bei Wolle besonders hohe Zahlen. Temperatursteigerungen von 26 und 27° wurden beobachtet. Auch bei Baumwolle war der Anstieg auffallend höher als beim trockenen Ammoniak. Für die übrigen Stoffe sind keine nennenswerten Unterschiede zu verzeichnen. Auch die Raschheit des Anstiegs war nicht wesentlich anders.

Suchen wir alle diese Ergebnisse in einige Sätze zusammenzufassen, so lauten sie etwa:

Bei jeder Art der Versuchsanordnung zeigen die Textilfasern in trockenem und befeuchtetem Ammoniakgas eine erhebliche Temperatursteigerung. Ist der Stoff trocken, so zeigt Wolle in

der Regel etwas niedrigere Zahlen als die anderen Stoffe. Grofse Unterschiede sind aber nicht vorhanden, und es bleibt die Möglichkeit, dafs, wenn die Stoffe ganz gleichmäfsig gewickelt würden, auch noch diese Unterschiede verschwänden. Jedenfalls müfste eine Anzahl feinerer Versuche gemacht werden, um spezifische Unterschiede der Stoffe in trockenem Zustand festzustellen. Es liegt auf der Hand, dafs die verschiedene Temperatursteigerung vielleicht durch mehrere sich kreuzende Faktoren bedingt wird. Je rascher die Ammoniakaufnahme, je besser die Leitung, um so rascher steigt das Thermometer. Nun begünstigt der Luftgehalt der Textilfasern einerseits das Eindringen des Ammoniaks, anderseits stört er die Wärmeleitung.

Sehr auffallend ist auf den ersten Blick die Beschleunigung und Steigerung der Wärmebildung, wenn man statt getrockneter Stoffe lufttrockene verwendet. Nach den Ergebnissen der vorhergehenden Arbeit wissen wir, dafs die Menge des aufgenommenen Ammoniaks von dem Wassergehalt der Stoffe abhängig ist; ist die Ammoniakaufnahme die Ursache der Wärmebildung, so erklärt der höhere Feuchtigkeitsgehalt die stärkere Wärmebildung ohne weiteres.

Die mit flüssigem Wasser benetzten und ausgedrückten Stoffe zeigten eben wegen ihres Wassergehaltes vermehrte Erwärmung. Dafs die Wolle dabei alle anderen Stoffe übertrifft, erklärt sich wohl ungezwungen daraus, dafs Wolle in ausgedrücktem Zustand noch sehr reichlich lufthaltig ist, während Baumwolle und Leinwand mit ihren wassergefüllten Poren dem Eindringen des Ammoniaks grofse Schwierigkeiten bereiten. Auch wird ein zu grofser Wassergehalt schon deshalb schaden, weil sich die gebildete Wärme auf zu viel zu erwärmendes Material verteilt.

V. Versuch, die gefundene Wärme zu erklären.

Wir sahen schon im vorhergehenden Abschnitt, dafs alle Umstände, welche die Ammoniakaufnahme begünstigen, auch die Wärmebildung vermehren. Versuchen wir, die gebildete Wärme zu erklären.

Als Wärmequelle wird man nach einfachster Annahme die Kondensationswärme des Ammoniaks annehmen, eine Hypothese, die der Prüfung zugänglich ist. Ich habe viele Versuche zur Prüfung der Hypothese wirklich ausgeführt und darf sagen, dafs die Beobachtungen und Rechnungen so weit stimmen, als man dies mit den Mitteln meines Instituts z. Z. prüfen kann. Die Prüfungen wurden zunächst so ausgeführt, dafs in alter Weise die maximale Temperatursteigerung durch Einführung einer mit 2 g Watte umwickelten Thermometerkugel in 250 ccm Ammoniakgas beobachtet wurde, nach $2^1/_2$—$3^1/_2$ Minuten wurde rasch der Gummistopsel mit Thermometer und Wattekugel herausgezogen und in verdünnte titrierte Schwefelsäure gestellt — dabei war die Annahme gemacht, dafs man keine nennenswerte Ammoniakmenge bei diesem Transport verliert. In der folgenden Tabelle sind diese Versuche, als nach Methode I gemacht, bezeichnet.

Eine zweite Reihe von Versuchen wurde nach der Durchströmungsmethode (Methode II) ausgeführt. Ich schaltete in einem gegebenen Moment in den luftfreien Ammoniakstrom eine seitenständige Glaskugel von ca. 25 ccm Inhalt. Durch eine engere Öffnung war sie mit dem Ammoniakstrom verbunden, in die weitere war ein doppelt durchbohrter Gummi eingepafst, der in seiner einen Bohrung das Thermometer mit der Stoffumhüllung und in seiner anderen ein Glasröhrchen trug, das ein Abströmen des Ammoniaks gestattete. Die Temperatursteigerung des durchströmenden Ammoniaks wurde durch ein Thermometer, seine Menge durch Absorption in Schwefelsäure gemessen. Am Schlufs des Versuchs wurde die von der Stoffkugel absorbierte und die in der Glaskugel vorhandene Ammoniakmenge nach der in der vorigen Arbeit angegebenen Methode bestimmt und hieraus die vom Stoff absorbierte bestimmt.

Den Berechnungen habe ich folgende Konstanten zugrunde gelegt:

		Kalorien:
Kondensationswärme des Ammoniaks bei 17° für	1 mg	0,3
Spez. Wärme der Baumwolle	1 g	0,4

		Kalorien:
Spez. Wärme des Thermometerglases	1 g	0,22
» » » Thermometerquecksilbers . .	1 »	0,0336
» » » Ammoniaks	1 »	0,502

1 mg Ammoniak entwickelt bei der Absorption durch Wasser 0,5 Kalorien (0,494).

Ich berichte zunächst über die Versuche mit trockenem Stoff und trockenem Ammoniak.

Beispiele eines Versuchs nach Methode I:

2 g trockene Baumwolle absorbierten 39,4 mg Ammoniak. Die Temperatur des Thermometers stieg um 11°. 39,4 mg NH_3 bilden durch Kondensation $39{,}4 \cdot 0{,}3 = 10{,}9$ Kalorien.

Es wurden gefunden:

In 2 g Baumwolle . .	$2 \cdot 0{,}4 \cdot 11{,}0$	$= 8{,}8$	Kalorien.
» 0,5 » Thermometerglas	$0{,}5 \cdot 0{,}22 \cdot 11{,}0$	$= 1{,}2$	»
» 4,6 » Quecksilber . .	$4{,}6 \cdot 0{,}0336 \cdot 11{,}0$	$= 1{,}6$	»
		11,6	Kalorien.

Es wurde also etwas mehr Wärme gefunden als sich durch Kondensation berechnet. Komplizierter gestaltet sich die Berechnung der Durchströmungsversuche Methode II, von der ich auch ein Beispiel gebe:

2 g trockene Baumwolle und das umwickelte Thermometer I von der Anfangstemperatur 20,2 erwärmen sich auf 30,5, also Temperatursteigerung 10,3. Es werden durchgeleitet 731 mg Ammoniak, das sich ebenso wie ein 2. Thermometer (II) auf 0,6° erwärmt.

Die Baumwolle absorbiert 47,3 mg Ammoniak, dies macht eine Kondensationswärme von 12,7 Kalorien.

Gefunden wurden:

In 2 g Baumwolle	$2 \cdot 0{,}4 \cdot 10{,}3$	$= 8{,}24$	Kalorien.
» 0,5 » Thermometerglas (I) .	$0{,}5 \cdot 0{,}22 \cdot 10{,}3$	$= 1{,}1$	»
» 4,6 » Quecksilber	$4{,}6 \cdot 0{,}033 \cdot 10{,}3$	$= 1{,}6$	»
		10,9	Kalorien.

In 731 mg Ammoniak . . . 0,73 · 0,5 · 0,6 = 0,22 Kalorien.
» 0,5 g Thermometerglas II 0,5 · 0,22 · 0,6 = 0,06 »
» 4,6 » Quecksilber II . . 4,6 · 0,03 · 0,6 = 0,1 »

0,4 Kalorien.

Gefundene Kalorien zusammen 11,3, also etwas weniger als durch Kondensation entstehen kann. Alle durchgeführten Rechnungen in Tabellenform angeordnet:

Tabelle IV.

2 g trockene Watte. Trockenes Ammoniak.

1. Flaschenmethode.

Absorbiertes Ammoniak in mg	Kondensationswärme	Temperatursteigerung des umwickelten Thermometers	Berechnete Kalorien
36,4	10,9	11	11,6
39,4	11,8	11	11,6
50,6	15,2	12,5	15,3

2. Überleitungsmethode.

Absorbiertes Ammoniak in mg	Kondensationswärme	Temperatursteigerung des umwickelten Thermometers	Temperatursteigerung des Ammoniakstroms u. des zweiten Thermometers	Berechnete Kalorien
44,7	13,4	13,5	0,6	14,7
42,3	12,7	10,3	0,6	11,3

Das heifst: Die durch Ammoniakkondensation gebildete Wärme reicht ziemlich genau aus, um die gefundene Wärmebildung zu erklären—die Übereinstimmung ist mehrfach eine vortreffliche. Eine genaue Überlegung zeigt aber doch noch kleine Schwierigkeiten. Die gefundenen Kalorienzahlen sollten eigentlich nicht gleich sondern etwas kleiner sein als die berechneten, denn zur Erwärmung des unabsorbierten Ammoniaks, der Glaswand und des Gummis, mufs doch auch noch etwas Wärme abgegeben werden, und es ist möglich ja wahrscheinlich, dafs auch das Glas des Thermometers noch etwas über das Quecksilber hinaus erwärmt wird. Ich schlofs daraus, dafs die von mir als »gebildet« gefundene Kalorienzahl noch mit einem Fehler behaftet sei, und vermutete

es werde wohl die Annahme falsch sein, dafs die Stoffumhüllung des Thermometers durch und durch die gleiche Temperatur zeige.

Und in der Tat ergab die thermoelektrische Prüfung eines Durchströmungsversuchs bei einer Steigerung der Temperatur des Thermometers 13,5 eine Erhöhung der Temperatur der äufsersten Schicht der Umhüllung von 0,46°, und in 1—2 mm Tiefe von 2,3—2,9°, d. h. die in der Tabelle als gefunden angesetzten Kalorien sind etwas zu grofs, da sie unter Zugrundelegung der Mittentemperatur berechnet waren.

Doch dürfte vielleicht die folgende Überlegung berechtigt sein: Die im Zentrum gefundene Maximaltemperatur hat auch aufsen und überall in der Stoffkugel einen Moment geherrscht, sie ist im Verlauf des Versuchs vermindert durch Abströmen der Wärme durch Leitung und Strahlung, und es ist für die Rechnung doch erlaubt, die Temperatur des Zentrums zugrunde zu legen, und sich der Übereinstimmung zwischen Kondensationswärme und gefundenen Kalorien zu freuen.

Komplizierter wird das Problem, wenn der Stoff hygroskopisches Wasser enthält. Dabei ist die Ammoniakaufnahme, wie wir aus der ersten Arbeit sahen, erheblich erleichtert, aber die Berechnung erschwert. Wir kommen nämlich vor die Frage, welche Wärmebildung tritt ein, wenn das Wasser Ammoniak löst. Am einfachsten erscheint die Annahme:

Es kondensiert sich ein Teil des Ammoniaks auf den Stoffen, als ob sie trocken wären, dabei wird Kondensationswärme frei. Ein weiterer Teil des Ammoniaks wird von dem hygroskopischen Wasser gebunden, das sich, wie wir oben sahen, gerade wie flüssiges Wasser hinsichtlich seiner Ammoniakabsorption verhält. Während aber 1 mg Ammoniak bei seiner Kondensation 0,3 Kalorien bildet, werden bei Aufnahme des Ammoniaks in Wasser pro 1 mg 0,5 Kalorien frei. Es ist aber unbekannt, welcher Ammoniakanteil sich in den Stoffen und welcher im Wasser löst.

Ich habe für meine Berechnungen die — wie ich gerne gestehe — willkürliche Annahme gemacht, dafs sich die Ammoniakmengen, die unter 40 mg betragen, in Stoff gelöst haben. 40 mg ist etwa der Durchschnitt der Ammoniakabsorption durch trockene

Stoffe in 2 Minuten, was darüber ist, betrachte ich als in Wasser gelöst. Für diesen Anteil habe ich 0,5 Kalorien pro 1 mg gerechnet, es ist verständlich, dafs die Konstante höher als 0,3 sein mufs, denn neben der Kondensation findet mit Wasser eine Umsetzung des NH_3 statt, wobei Wärme frei wird.

Bei der Ausrechnung ist auch berücksichtigt, dafs das hygroskopische Wasser erwärmt werden mufs.

Tabelle V.

Feuchte Watte, feuchtes Ammoniak. Flaschenmethode.

1	2	3	4	5	6	7
			Mögliche Kalorien			
Gewicht von Watte	Hygroskopisches Wasser in %	Absorbierte Menge NH_3 in mg	durch Kondensation allein	durch Kondensation bis 40 mg u. Lösung des Ammoniaks im Wasser	Temperatursteigerung des umwickelten Thermometers °C	Gefundene Kalorien
2 g	ca. 5 %	23,8	7,1	7,1	6,5°	7,4
»	»	25,0	7,5	7,5	7,5°	8,6
»	»	34,2	10,3	10,3	9,7°	11,0
»	»	46,4	13,9	15,2	14,0°	16,2
»	wahrscheinlich ca. 7 %	50,8	15,2	17,4	14,5°	16,9
»	ca. 5 %	53,6	16,1	18,6	15,0°	17,5
»	»	58,8	17,6	21,4	16,2°	18,8
»	21 %	87,2	26,2	35,6	22,0°	32,5
»	»	83,8	25,1	33,9		

Man sieht, unter der von mir gemachten Annahme stimmen die in Stab 5 berechneten Kalorien recht gut mit den in Stab 7 als gefunden aufgeführten. Wenn die gefundenen oft etwas hinter den berechneten zurückbleiben, namentlich bei dem höheren Wassergehalt, so erklärt sich dies ungezwungen dadurch, dafs von dem Wassergehalt bei der plötzlichen Erwärmung etwas verdunstet, wobei Wärme gebunden wird.

Ich bin mir durchaus bewufst, dafs genauere kalorimetrische Methoden notwendig, sind um die hier behandelten Probleme vollkommen aufzuklären — das erlauben aber für den Augenblick die Mittel meines Instituts nicht — wenn irgend möglich gedenke ich noch solche Untersuchungen nachzuliefern. Für heute glaube ich bewiesen zu haben: Die Wärmesteigerung trockener

Stoffe im trockenen Ammoniakgas ist ganz oder annähernd durch die Kondensationswärme des Ammoniaks zu erklären, hygroskopisch durchfeuchtete Stoffe erwärmen sich einesteils durch Ammoniakkondensation (d. h. Auflösungen von Ammoniak in der Faser), anderseits durch Ammoniakauflösung im hygroskopischen Wasser.

Für Wolle habe ich auch einige Versuche mit ähnlichem Resultat durchgeführt.

VI. Über die Wärmebildung bei der Einführung von Textilstoffen in Wasserdampf.

Wie Tabelle III angibt, erfahren Textilstoffe in getrocknetem Zustand, fest oder lose gewickelt, schon in eine mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre eingeführt bei der obigen Versuchsanordnung eine Temperatursteigerung von 5,2—9°. Im allgemeinen gibt Wolle und Seide etwas höhere Zahlen als wie Baumwolle, Flachs und Leinwand. Sehr grofs sind aber auch hier die Differenzen nicht. Die Wollen- und Seidenwerte liegen etwa $1^1/_2{}^0$ höher wie die Baumwollwerte. Die Temperatursteigerung war langsamer als in Ammoniak, erst nach ca. 5 Minuten wurde sie merklich schwächer und brauchte dann 8—13 Min. bis zur Vollendung. Wie zu erwarten, ergaben hier — anders als wie beim Ammoniak — die Versuche mit lufttrockenen Stoffen nicht höhere sondern niedrigere Werte bei der Anwendung trockener Stoffe.

(Siehe Tabelle VI auf S. 308.)

Auch diese Ergebnisse erklären sich ungezwungen durch Wasserkondensation. 2 g trockene Wolle nehmen nach einer Reihe von Versuchen auf:

in 3 Minuten . . . . . 12 mg
» 5 » . . . . . 22 »
» 10 » . . . . . 37,8 »

Die Kondensation jedes mg Wassers liefert 0,6 Kalorien, also werden

in 3 Minuten . . = 7,2 Kalorien
» 5 » . . = 13,2 »
» 10 » . . = 22,7 » gebildet.

Tabelle VI.

Stoffe getrocknet	Temperatur-steigerung in Graden	Steigerung läßt nach (Minuten)	Steigerung hört auf (Minuten)	Stoffe lufttrocken	Temperatur-steigerung in Graden	Steigerung läßt nach (Minuten)	Steigerung hört auf (Minuten)
Wolle (Garn) fest . .	9	4	9	Wolle (Garn) fest .	2,5	$3^1/_2$	9
» » » . .	7,5	bis	bis				
» » trocken .	7,25	6	13				
Wolle (Haar) fest . .	8		9	Wolle (Haar) fest .	1,5	3	9
» » » . .	8	5	bis				
» » locker .	7,25		15				
» » fest . .	6,5						
Baumwolle (Watte) fest	7	5	8	Baumwolle (Watte)			
» » »	6,5	bis	bis	fest	2,5	2	10
» » locker	6,5	6	12				
Flachs fest	6	5	$11^1/_2$	Flachs fest	4	4	10
» »	6	bis	bis				
» locker . . .	5,5	6	13				
Leinwand in Fäden fest geschnitten .	7	$3^1/_2$	$9^1/_2$	Leinwand in Fäden fest geschnitten .	3,5	$3^1/_4$	7
Leinwand in Fäden locker geschnitten .	6,75	bis	bis				
Leinwand in Fäden fest geschnitten .	5,25	4	13				
Seide fest	8,5	6	$10^1/_2$	Seide fest	2,5	3	8
» locker	7,25	bis	bis				
» fest	6,5	7	12				

Bei der trockenen Baumwolle waren in 6 Minuten etwa 5°, in 10 Min. etwa 6,5—7° erreicht.

5° bedeutet nach der im vorigen Abschnitt gegebenen Berechnung etwa 6,7 Kalorien,

7° bedeutet nach der im vorigen Abschnitt gegebenen Berechnung etwa 9,4 Kalorien.

Es reicht also die Kondensationswärme nicht nur vollkommen zur Erklärung der gefundenen Wärme, sondern es blieben noch Kalorien genug, um Glaswand, Stöpsel etc. zu erwärmen. Speziell

in diesen Versuchen mit Wasserdampf, wo der ganze Prozefs nicht in $1^1/_2$—2 sondern in 6—10 Minuten verläuft, mufs mit gröfseren Wärmeverlusten gerechnet werden.

Dafs die Reaktion langsam verläuft, ist verständlich, wenn man bedenkt, dafs der Wasserdampfvorrat in der 250 ccm fassenden Flasche zu Versuchsbeginn nur 4—5 mg beträgt, dafs also kontinuierlich Wasser verdunsten mufs — auch dazu wird ein Teil der Kondensationswärme verwendet werden.

Es war interessant, den Versuch in der Weise umzukehren, dafs man 1 Thermometer, das mit durch hygroskopisches Wasser gesättigter Stoffe umbunden war, über Schwefelsäure brachte, es durfte nun ein analoges Sinken der Temperatur der Baumwolle erwartet werden.

In der Tat sank einmal in 4 Minuten die Temperatur von 21,2 auf 15,2, d. h. um 6°[1]), ein andermal in 4 Minuten von 20° auf 16°, d. h. um 4°. Die Zahlen würden noch niedriger ausfallen, wenn sich nicht die Schwefelsäure dabei um 1,5° erwärmte und indirekt wieder die Lufttemperatur erhöhte.

VII. Versuche mit Salzsäure.

Mit Salzsäuregas wurden ebenfalls ziemlich zahlreiche Versuche gemacht — nach den Resultaten der vorhergehenden Arbeit findet ja auch von diesem Gase eine starke Absorption statt. Die Versuchsanordnung war ganz die wie bei Ammoniak, die Temperatursteigerung war bei den trockenen Stoffen ziemlich langsam und bescheiden — kleiner wie bei Ammoniak — indem

trockene Wolle	Baumwolle	Leinwand u. Flachs	Seide
$8^1/_2$—10°	$6^1/_2$—7°	4,5—5,7°	$3^1/_2$°

Temperatursteigerung hervorbrachten.

Die Versuche mit lufttrockenen Stoffen ergaben sehr hohe und rasche Temperatursteigerungen — in 1 Minute bis zu 52°. Die Resultate zeigt die Tab. VII, zu der ich bemerke, dafs die Versuche nicht oft genug ausgeführt sind, um die Fragen, die

1) In diesem Versuch wurde die Schwefelsäure den Wänden entlang etwas verteilt.

sich anknüpfen, so ausführlich zu diskutieren wie bei dem Ammoniak.

Tabelle VII.

Stoffe getrocknet	Temperaturerhöhung in Graden	Steigerung läfst nach	Steigerung hört auf	Stoffe lufttrocken	Temperaturerhöhung in Graden	Steigerung läfst nach	Steigerung hört auf
		Minuten				Minuten	
Wolle (Garn) . . .	10	3½	5¼	Wolle (Garn) locker	52	1	1
» » . . .	9,5	bis 9	bis 9				
Wolle (Haar) . . .	8,5	3	5	Wolle (Haar) . . .	30,5	1¾	1¾
Baumwolle (Watte) fest	7,0	3	6	Baumwolle (Watte)			
» » »	6,5	bis 6	bis 7	locker	24	1¾	1¾
Leinwand in Fäden geschnitten		1	2½	Leinwand in Fäden geschnitten, locker	24	1¼	1½
Leinwand in Fäden geschnitten		bis 1½	bis 3				
Flachs fest	5,75	1¼	4	Flachs	47	1½	1¾
Seide fest	3,5	2½	2½	Seide	38	1¾	1¾

Doch habe ich auch hier versucht, einige quantitative Betrachtungen durchzuführen.

2 g trockene Wolle absorbierten von trockenem HCl in 3 Minuten 32,9 mg und erwärmt sich um 3°,

2 g trockene Wolle absorbierten von trockenem HCl in 3 Minuten 30,0 mg und erwärmt sich um 3°,

2 g Wolle mit 16% hygroskopischem Wasser absorbieren in ½ Minute 188 mg HCl und erwärmen sich dabei um 45°,

2 g Wolle mit 16% hygroskopischem Wasser absorbieren in ½ Minute 205 mg HCl und erwärmen sich dabei um 47°.

Als ich aber Rechnungen ausführen wollte, zeigte sich, dafs die nötigen Konstanten nicht auffindbar waren, vor allem fehlt eine Zahl für die Wärmebildung, wenn kleine Wassermengen grofse Salzsäuremengen aufnehmen. Da bei gleichzeitiger Entwicklung von Feuchtigkeit und Salzsäuredampf eine Karbonisierung der Zellulose stattfindet, chemische Prozesse über deren thermische Verhältnisse nichts bekannt ist, so unterliefs ich es um so eher,

die beim Ammoniak durchgeführten Betrachtungen auf die Salzsäure auszudehnen — wo die Verhältnisse offenbar anders liegen.

VIII. Einige Versuche mit Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und Textilfasern.

Meine Erfahrungen lassen sich in den Satz zusammenfassen: Weder trockene noch hygroskopisch feuchte Wolle gibt mit Kohlensäure oder Schwefelwasserstoff eine Temperatursteigerung, ich habe daraufhin auch keine Bestimmung über die Aufnahme dieser Gase gemacht.

IX. Versuche mit Glaswolle und Asbest.

Trockene Glaswolle und Asbest gaben in trockenem Ammoniak keine Temperatursteigerung, mit feuchtem Ammoniak eine unbedeutende von 2,5—3°.

Trockener Asbest gab in Salzsäure gar keine Temperatursteigerung, lufttrockener Asbest eine solche von 1°.

Diese Stoffe scheinen die Gase nicht nennenswert zu kondensieren, weil sie sich nicht wie in den Textilfasern in ihnen auflösen können, sowie an der Oberfläche eine Schicht kondensiert ist, hört die Absorption auf.

X. Literarischer Anhang.

Wie ich in der Einleitung bemerkte, hat mich Herr Dr. Overton nach Abschlufs meiner wesentlichen Beobachtungen darauf aufmerksam gemacht, dafs in den Proceed. of the royal society 1904, vol. 74, p. 230—254 eine Arbeit enthalten sei, die sich zum Teil mit einem Abschnitt der meinigen decke. In der Tat hat daselbst Orme Masson eine Arbeit publiziert: »Über das Anfeuchten von Baumwolle durch Wasser und Wasserdampf«, die sehr ähnliche Ergebnisse, wie ich, beim Eintauchen von Baumwolle in wassergesättigte Luft beschreibt. Die Arbeit beschäftigt sich aber ausschliefslich mit dem Verhalten der Baumwolle zu Wasser und berücksichtigt nicht die anderen Gase. Auch Orme Masson kommt in der Arbeit zu dem Resultate, dafs es die Kondensationswärme ist, welche die Temperatursteigerung bedingt

soweit ich aus dem mir allein zugänglichen Referat (Naturwissenschaftl. Rundschau XX, Nr. 9, 2. März 1905) ersehe, hat Orme Masson im wesentlichen nach ähnlichen Methoden gearbeitet wie ich. Interessant ist sein Nachweis, dafs nicht entfettete Wolle beim Eintauchen in flüssiges Wasser ähnliche Temperatursteigerung zeigt wie in Wasserdampf und aus dem gleichen Grunde.

Auf die von Nägeli studierte Wärmebildung beim Mischen von trockener Stärke und Wasser (Theorie der Gärung f. 133, u. f.) will ich hier nicht eingehen, da meine Resultate sich zwanglos durch dies einfache Rechnen mit Kondensations- und Lösungswärme erklären lassen.

Herrn Dr. Overton, dem ich auch diese Literaturstelle verdanke, bin ich auch sonst für manchen fördernden Rat zu Dank verpflichtet, ebenso Herrn Kollegen v. Frey für freundliche Ausführung der thermoelektrischen Messung, wozu mir noch die Mittel fehlen.

Über Milzbrandimpfungen bei Fröschen.

Von

Dr. **Fritz Ditthorn,**

Assistenten am Kgl. Hygienischen Institut zu Posen.

(Aus dem Kgl. Hygienischen Institut zu Posen.)

Die in letzter Zeit mehrfach erschienenen Arbeiten über die Umwandlung von Mikroorganismen in verschiedene Typenarten und die Abschwächung ihrer Virulenz für Warmblüter durch längeren Aufenthalt im Kaltblüterkörper oder mehrfache Passage durch denselben, veranlafsten Herrn Prof. Wernicke, mir den Vorschlag zu machen, den Abschwächungsgrad resp. die Abschwächungsmöglichkeit bei Milzbrand für weifse Mäuse in dem für Milzbrand bei gewöhnlicher Temperatur immunen Froschkörper durch eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Passagen festzustellen.

Was dem Froschkörper die Fähigkeit erteilt, milzbrandschädigend zu wirken, ist mit Sicherheit noch nicht experimentell erwiesen. Tatsache ist, dafs die einem Frosche auf irgendeine Weise verimpften Milzbrandbazillen nach einem Aufenthalte von nur wenigen Tagen Degenerationserscheinungen zeigen und ihre scharfen Konturen verlieren. Behring, Fränkel[1]) und Petruschky[2]) schreiben diese Wirkung der Kohlensäure zu. Nach

---

1) Fränkel, Die Einwirkung der Kohlensäure auf die Lebenstätigkeit der Mikroorganismen. Zeitschr. f. Hygiene, Bd. V, S. 332.

2) Petruschky, Über die Einwirkung des lebenden Froschkörpers auf den Milzbrandbazillus. Zeitschr. f. Hygiene, Bd. VII, S. 75.

bereits angestellten Versuchen Petruschkys, bei denen die Kohlensäure durch Behandeln des Frosches mit Milchsäure oder Barytwasser ausgeschaltet wurde, konnte das Auskeimen der Sporen bei Zimmertemperatur beobachtet werden.

Die schädigende Einwirkung der Kohlensäure auf Milzbrandbazillen wurde auch schon von Pasteur und Joubert[1]) sowie von Szpilmann[2]) erwiesen. Nach den Ergebnissen Szpilmanns werden Milzbrandbazillen bei 24stündiger Einwirkung von Kohlensäure abgetötet, während Fränkel in der Kohlensäure nur ein wachstumhemmendes Mittel sieht, eine Anschauung, die sich, auf die Verhältnisse im Froschkörper übertragen, jendenfalls bestätigt, denn der Milzbrand wird im Froschkörper nicht abgetötet, sondern nur geschädigt und dies nur morphologisch, keineswegs in bezug auf die Virulenz, wie die in dieser Arbeit näher beschriebenen Versuche ergeben haben.

Der gröfste Teil der mit Milzbrand bei Fröschen angestellten Versuche datiert aus der Kampfzeit gegen und für die Phagozytentheorie Metschnikoffs. So hat Petruschky in Übereinstimmung mit R. Koch nachgewiesen, dafs keinerlei Wachstumsbehinderung der jenigenMilzbrandbazillen eintrat, die bereits von Leukozyten aufgenommen waren, wohl aber konnte er ein Absterben der in leukozytenfreier Lymphflüssigkeit befindlichen Bazillen konstatieren. Sporen wuchsen im Froschlymphsack bei Zimmertemperatur nicht, sondern erst bei höherer Temperatur, aus und fielen bald meist aufserhalb der Leukozyten der Degeneration anheim. Auch die Nachprüfungen des »experimentum crucis Metschnikoff« fielen bei 22° C negativ aus und gelangen erst bei 24—26° C.

Pekelharing[3]) stellte fest, dafs nicht die Milzbrandsporen, sondern die Milzbrandbazillen im Froschkörper die chemotaktische

---

1) Pasteur und Joubert, Compt. rend., Bd. LXXIV, p. 900, 1877.

2) Szpilmann, Über das Verhalten der Milzbrandbazillen in Gasen Zeitschr. f. physiolog. Chemie, Bd. IV, S. 350, Jahrg. 1880.

3) Pekelharing, C. A., Über Zerstörung von Milzbrand-Virus im Unterhautbindegewebe des Kaninchens. Zieglers Beiträge f. path. Anatomie, Bd. VIII, 1890, S. 263.

Wirkung auf die Leukozyten ausüben und zwar ist er der Anschauung, dafs die Stoffwechselprodukte der Bazillen die chemotaktisch wirkende Substanz produzieren, die leicht durch Membranen diffundiert, alkohollöslich ist und sauer reagiert. Durch anhaltendes Kochen verlieren die Bazillen die chemotaktisch wirkende Substanz.

Zu weiteren, der Metschnikoffschen Phagozytose widersprechenden Resultaten führen die Untersuchungen Netschaiews, die zeigen, dafs bei Kaltblütern eine Aufnahme der Milzbrandbazillen seitens der Leukozyten besteht, dagegen bei Warmblütern speziell bei Tauben und Hühnern, die gegen Milzbrand immun sind und nach M. die Erscheinungen der Phagozytose am deutlichsten vor Augen führen sollten, äufserst selten eintritt. Bazillen, die in den Geweben milzbrandimmuner Tiere verweilt haben, besitzen nur schlechtes Färbungsvermögen und zeigen Degenerationserscheinungen.

Die degenerierten Bazillen liegen sowohl innerhalb als aufserhalb der Leukozyten, woraus Netschaiew den Schlufs zieht, dafs die Generation der Bazillen durch die Einwirkung der flüssigen Körpersäfte und nicht durch die Leukozyten zustande kommt.

Weitere Versuche Netschaiews, wie das Einbringen gefärbter Milzbrandbazillen in den Froschkörper, zeigen, dafs die Degeneration ohne Zutun der Leukozyten stattfindet. Zum nämlichen Schlufs führt ein Versuch mit dem für Milzbrand immunen Hunde.

Einen weiteren bedeutenden Beitrag zur Streitfrage über die Art und Weise der Zerstörung der Milzbrandbazillen im Frosch bringt Sanarelli[1]) durch ein neues Verfahren, leukozytenfreie Froschlymphe (Kollodiumsäckchen) zu benutzen. Die Lymphe besitzt energisch abschwächende Wirkung auf sporenhaltige und sporenfreie Milzbrandbazillen. Die Abnahme der Virulenz zeigt

1) Netschaiew, P., Die Phagozytose in ihrer Beziehung zur Infektion. (Medicinskaje Obosrenie, Bd. XXXIII, 1890, p. 976.)

2) Sanarelli, G., La causa dell' immunità naturale contro il carbonchio. (Revista d'Igiene è Sanità publica, 1891, no. 3.)

sich schon nach 3—4 Tagen bei den Sporen und sporenhaltigen Bazillen, bedeutend früher (24 Stunden) bei den sporenfreien Bazillen. Die Vitalität der der Lymphe unterworfenen Bazillen dauert hartnäckig fort. Die abgeschwächten Bazillen vermögen den Tieren keine Immunität zu verleihen und erlangen, auf künstlichen Nährböden gezüchtet, bald wieder ihre Virulenz. Ferner zeigte der Verfasser[1]), dafs in Zelluloseröhrchen eingeschlossene Milzstückchen milzbrandkranker Tiere, in den Froschlymphsack gebracht, sich nach 8—10 Tagen mit absolut leukozytenfreier Lymphe angefüllt haben. Die Lymphe bewirkte den Zerfall des Milzstückchens zu körnigen Häufchen und die Degeneration der Milzbrandbazillen. Eine Verimpfung dieser Milzstückchen auf Tiere hatte keine nachteilige Wirkung, angelegte Kulturen ergaben eine langsame Entwicklung spärlicher Kolonien. Milzbrandsporen keimen nach Sanarelli[2]) in der Lymphe normaler Frösche weder bei 18—20° C, noch bei 27° C, wohl aber bei 37° C, verlieren hierbei ihre Virulenz. In der vorher auf 50—80° C erhitzten Lymphe keimen die Sporen auch bei 18—20° C aus. Sanarelli gibt der Anschauung Raum, dafs die bei 30° C gehaltenen, mit Milzbrand geimpften Frösche infolge der Temperatureinwirkung sterben, ein Einwand, der bereits von Baumgarten und Lubarsch gemacht wurde, und der auch durch meine Versuche insoweit bestätigt wurde, als der Tod auch bei fast sämtlichen Kontrolltieren eintrat.

Jedenfalls ist erwiesen, dafs die Lymphe eine degenerierende Wirkung auf die Milzbrandbazillen ausübt, abgesehen von irgendeinem Einflufs der Leukozyten, welche sich die Milzbrandbazillen einverleiben können, ehe sie durch die Lymphe zerstört sind.

Verfasser nimmt an, dafs beim Erwärmen der leukozytenfreien Froschlymphe eine Umbildung vor sich geht, die bei 37° C beginnt und dann das Wachstum der Milzbrandsporen ermöglicht.

---

1) Sanarelli, G., Come si distrugge il virus carbonchioso nel tessuto sottocutaneo degli animali non immuni. (Atti della R. Akademia dei Fisiocritici. Siena, 1891.)

2) Sanarelli, G., Die Ursachen der natürlichen Immunität gegen den Milzbrand. (Centralbl. f. Bakteriol. u. Paras., Bd. IX, 1891, S. 467.)

Unverständlich ist Sanarelli, wie Metschnikoff bei Zimmertemperatur von 17—20° C Keimung von Milzbrandsporen im Froschkörper festgestellt hat. Frösche, die mehrere Stunden im Brutschrank erwärmt wurden, zeigten nach Fischels[1]) Versuchen, mit Milzbrand geimpft und dann aus der Wärme genommen, eine langsame Degeneration der Bazillen. Von diesen Fröschen angelegte Kulturen veranlaſsten nur den Tod einiger damit geimpfter Mäuse. Die am Leben gebliebenen Tiere erwiesen sich gegen I. Vacein immun.

In weiteren Versuchen stellte Rohrschneider[2]) fest, daſs bei Fröschen, die mit Milzbrand geimpft oder gefüttert wurden, 28° C die unterste Grenze für eine Vermehrung der Bazillen sei. Bei höherer Temperatur gehen die Frösche zugrunde. Bei den geimpften Fröschen fanden sich zahlreiche Bazillen in Blut, Nieren, Milz, Leber und Lunge, bei den gefütterten nur spärliche im Darm und Kreislauf.

Sogenannten Mäusemilzbrand für Mäuse unschädlich zu machen, gelang Ogata und Jasuhara[3]) dadurch, daſs sie Milzbrand auf sterilisiertem Froschblute züchteten. Dieselben Resultate ergaben Züchtungen der Milzbrandbazillen auf Froschblutserum und Froschblutkuchen. Analoge Versuche mit Blut, Serum oder Blutkuchen von weiſsen Ratten oder Hunden ergaben dasselbe Resultat wie die Froschblutkulturen. Ein Tropfen Froschblut oder ½ Tropfen Hundeblut vor resp. nach der Milzbrandinfektion in die Mäuse verimpft, lieſsen die Tiere die Infektion überstehen. Ein Teil der Mäuse, durch Milzbrandimpfung und

1) Fischel, F., Untersuchungen über die Milzbrandinfektion bei Fröschen und Kröten. (Fortschritte d Medizin, 1891, Nr. 2, S. 45.)

2) Rohrschneider, Experimentelle Untersuchungen über die bei Fröschen durch Verweilen in höherer Temperatur erzeugte Disposition für Milzbrand. (Zieglers Beiträge zur path. Anatomie u. allgemeinen Pathologie, Bd. IX, 1891, Heft 3.)

3) Ogata, Über die bakterienfeindliche Substanz des Blutes. (Centralblatt f. Bakt. u. Parasit., Bd. IX, S. 597.)

4) Ogata und Jasuhara, Über die Einflüsse einiger Tierblutarten auf Milzbrandbazillen. (Mitteilg. d. mediz. Fakultät d. kaiserl. japan. Universität Tokio. 1890, Bd. 1, Nr. 4. Ref. Centralbl. f. Bakt. u. Paras., 1891, Nr. 1, S. 25.)

Blutinjektion immun gemacht, blieben, einige Wochen später mit wirksamem Milzbrand beimpft, am Leben.

Nach diesen eben angeführten Arbeiten über Milzbrand bei Fröschen sind nun als schädliche Einflüsse erkannt worden: erstens die Kohlensäure, und zwar bei Verimpfung des Milzbrands in den Lymphsack (Petruschky), zweitens die leukozytenfreie Lymphe bei einer 27° C (Sanarelli), 28° C (Rohrschneider) nicht übersteigenden Temperatur (Saranelli), und drittens sterilisiertes Froschblut, Froschserum und Froschblutkuchen (Ogata und Jasuhara). Verfasser konnten mit Froschblut Mäuse gegen Milzbrand sogar immunisieren.

Bei den nun folgenden Versuchen sollte gezeigt werden, ob der Milzbrand durch den Aufenthalt und die Passage im resp. durch den Kaltblüterkörper des Frosches (rana temporaria) an seiner Pathogenität für Warmblüter (weifse Mäuse) Einbufse erfährt oder sie ganz verliert, was wohl nach den schädigenden Wirkungen der Kohlensäure, der Lymphe und des Blutserums für sich allein zu erwarten gewesen wäre.

Frosch I und II wurden mit einer Öse 24stündiger Milzbrandkultur (Stammkultur) in eine Hauttasche am Rücken geimpft. Die Milzbrandstammkultur war aus der Leber einer an Milzbrand gestorbenen Maus frisch herausgezüchtet worden.

Nach 5 Tagen wurden die beiden Frösche getötet, im Blute beider Tiere waren Milzbrandbazillen mikroskopisch nicht nachzuweisen. Ausstrichpräparate von der Leber, der Niere und der Impfstelle zeigten zahlreiche Milzbrandbazillen. Der aus der Leber der Frösche durch das Plattenverfahren herausgezüchtete Milzbrand (Passage I) tötete eine weifse Maus A, die mit einer Öse der 24stündigen Kultur an der Schwanzwurzel geimpft wurde, nach 48 Stunden. Der Sektionsbefund ergab in allen Organen zahlreiche Milzbrandbazillen. Eine morphologische Veränderung, sowie eine Virulenzabschwächung der Milzbrandstammkultur wurde durch den 5tägigen Aufenthalt im Froschkörper nicht erreicht.

Mit der aus den Fröschen I und II gewonnenen Passage I erfolgte eine weitere Verimpfung auf zwei weitere Frösche in

derselben Weise. Nach 5tägigem Aufenthalt der Milzbrand-Passage I waren diesmal weder im Blute und den Organen (Leber und Niere) noch an der Impfstelle Milzbrandbazillen mikroskopisch nachweisbar. Das Plattenverfahren (Leber und Impfstelle) ergab jedoch zahlreiche Milzbrandkolonien, von denen Passage II gewonnen wurde.

Maus B, mit einer Öse der Passage II wie Maus A geimpft, starb nach 48 Stunden an Milzbrand, der in allen Organen nachweisbar war. Auch bei Passage II war eine Abschwächung durch den Aufenthalt im Kaltblüterorganismus nicht eingetreten.

Verschiedene Befunde im Froschkörper wurden in beiden folgenden Passagen III und IV dahin gemacht, dafs der mikroskopische Nachweis der Milzbrandbazillen sowohl im Blute als in den Organen und der Impfstelle gelang.

Maus C mit Passage III, Maus D mit Passage IV und Maus E mit Passage V geimpft, gingen alle innerhalb des gewöhnlichen Zeitraumes unter den Erscheinungen des Milzbrandes ein, der bei allen Tieren bakteriologisch nachgewiesen wurde.

Bei den Fröschen der V. Passage zeigten sich in den Ausstrichpräparaten der Leber sehr stark deformierte Bazillen, und zwar im Gegensatz zu den bisher aufgetretenen Degenerationsformen allmählich spitz zulaufende Milzbrandfäden, die ungleichmäfsig dicke Beschaffenheit hatten. Diese Form der Degenerationserscheinungen ist nun in den folgenden Passagen sehr oft zu sehen. Die mit den weiteren Passagen VI—XV in gleicher Weise geimpften Mäuse starben alle innerhalb von 44—48 Stunden an typischem Milzbrand.

Passage XVI bewirkte eine tödliche Wirkung nach 43, und Passage XIX schon nach 38 Stunden.

Der durch 20 Frösche geschickte Milzbrand zeigte insofern ein verändertes Bild, als die durch die Kultur aus den Organen erhaltenen sporenhaltigen Milzbrandfäden am Ende der einzelnen Bazillen sehr tief eingeschnürt waren, so dafs der Bazillenleib um die Spore herum ungewöhnlich erweitert schien (Clostridenform).

Maus M, mit Passage XX geimpft, starb bereits nach 32 Stunden, 16 Stunden früher als die mit Passage I geimpfte Maus A.

Die Passage XXI tötet nach 38 Stunden und die Passage XXV schon nach 35 Stunden die Mäuse, was im letzten Falle eine Beschleunigung der tödlichen Wirkung von 13 Stunden der I. Passage gegenüber bedeutet. In der Leber des Frosches der XXV. Passage waren vereinzelte sehr stark degenerierte Milzbrandbazillen mikroskopisch nachweisbar.

Aus diesen Impfversuchen der verschiedenen Passagen I bis XXV geht nun zweifellos hervor, dafs statt der erwarteten Abschwächung des Milzbrandes eine verhältnismäfsig nicht geringe Erhöhung seiner Virulenz für weifse Mäuse durch den Aufenthalt und die Passage im Kaltblüterkörper des Frosches eingetreten ist. Froschblut, Serum und Lymphe, sowie die Kohlensäure, die aufserhalb des Organismus, jedes für sich allein, auf den Milzbrand schädlich wirken, sind nicht imstande, innerhalb des Körpers dieselbe Wirkung hervorzurufen. Veränderungen in morphologischer Hinsicht traten in der bereits erwähnten Weise auf, die Wachstumsgeschwindigkeit bei der Züchtung aus dem Froschkörper verminderte sich von der XX. Passage an um 12—20 Stunden, so dafs es den Anschein hat, dafs mit der zunehmenden Degeneration in morphologischer Hinsicht die Wachstumsfähigkeit bei der Züchtung durch das Plattenverfahren abnahm, die Virulenz aber trotzdem stieg.

Terni[1] erwähnt bereits, dafs beim Durchgang durch Kaltblütertiere der Milzbrand ansteckende Eigenschaften für dieselben annehme, ohne eine Verminderung seiner Virulenz für Warmblüter zu erleiden, jedoch die Fähigkeit der Sporenbildung verlöre. Dafs die Virulenz nicht nur nicht vermindert, sondern sogar erhöht wurde, haben obige Versuche bestätigt; was die Fähigkeit der Sporenbildung anbetrifft, so blieb dieselbe auch dem durch 25 Frösche geschickten Milzbrand erhalten.

---

1) Terni, C., Das Serum kaltblütiger Tiere bei der Milzbrandinfektion (Mitteilg. a. d. XI. Internat. med. Kongrefs zu Rom.)

Krankheitserregende Eigenschaften für die Frösche selbst hat der Milzbrandstamm durch die Passagen nicht angenommen, da keiner der Frösche an Milzbrand eingegangen ist. Von Interesse dürfte weiter sein, dafs der Nachweis von Milzbrand in einem Frosche noch drei Monate nach der Verimpfung gelang, obwohl das Tier innerhalb dieser Zeit acht Tage vollständig eingefroren war. Ein Frosch, am 31. X. 05 mit einer Öse der XXV. Passage geimpft, war im Januar bei Eintritt stärkerer Kälte in seinem Glase eingefroren. In Zimmertemperatur gebracht, gelangte er mit auftauendem Eise wieder vollständig zum Leben. Zirka 14 Tage hierauf getötet, waren in Ausstrichpräparaten von Leber und Niere keine Milzbrandbazillen nachweisbar, einige sehr degenerierte Formen waren in den Präparaten, vom Herzblut stammend, zu sehen. Das Plattenverfahren lieferte von Leber und Niere zahlreiche Milzbrandkolonien, ebenso das Wasser, in dem der Frosch lebte.

Zwei Mäuse, mit dem drei Monate im Frosche gewesenen Milzbrand geimpft, starben nach 42 bzw. 60 Stunden. Milzbrand konnte in allen Organen nachgewiesen werden. Selbst ein so langer Aufenthalt im Froschkörper konnte keine Abschwächung hervorrufen.

Die durch obige Versuche gemachte Erfahrung, dafs Milzbrand durch Passage im Kaltblüterkörper nicht abgeschwächt wird, stimmt überein mit Webers und Tautes Arbeiten, die Kossel anführt. Erwähnte Forscher haben nachgewiesen, dafs die angeblich aus den Säugetiertuberkelbazillen durch Umwandlung hervorgegangenen »Kaltblütertuberkelbazillen« keine Tuberkelbazillen waren, sondern nur säurefeste Saprophyten. Die Annahme einer Abschwächung der Bakterien, wie man sie z. B. für die Tuberkelbazillen im Kaltblüterkörper annahm, hat sich demnach auch für den Milzbrandbazillus im Froschkörper nicht bestätigt.

1) Congrès international de la Tuberkulose. Paris, 27. Oktober 1905. Etude comparative des diverses Tuberkuloses. Rapport présenté par le professeur Dr. H. Kossel.

Bei den Versuchen, Milzbrandfrösche bei höherer Temperatur, 32 und 37° C zu halten, um dadurch die Vermehrung der Milzbrandbazillen hervorzurufen, wurde die Erfahrung gemacht, daſs auch die Kontrolltiere, die bei derselben Temperatur gehalten wurden, in den weitaus meisten Fällen innerhalb 3—5 Tagen eingingen; allerdings war auch in allen geimpften Tieren Milzbrand in allen Organen nachzuweisen.

Frösche sind gegen allzu starke Temperaturschwankungen an und für sich sehr empfindliche Tiere; die aus Kellertemperatur, direkt ohne Zwischenaufenthalt im Korridor, in Zimmertemperatur gebrachten Frösche gingen regelmäſsig schon vor der Impfung infolge des Temperaturwechsels ein.

Über trübe Wintertage nebst Untersuchungen zur sog. Rauchplage der Grofsstädte.

Von

Max Rubner.

(Erster Teil.)

Trübungen der grofsstädtischen Atmosphäre.

Wer in den letzten Jahrzehnten einen Blick auf die statistischen Ergebnisse geworfen hat, findet dort eine charakteristische Eigentümlichkeit der Städtehygiene zum Ausdruck kommen: das Wachstum der Grofsstädte. Von letzteren haben wir nun schon mehrere Dutzend und der in ihnen lebende Bevölkerungsteil ist ein sehr bedeutender. Nach der allgemeinen Mortalitätsstatistik beurteilt, sind nicht die Grofsstädte die ungesundesten, sondern vielfach die mittleren und kleineren Städte; doch gibt die allgemeine Todesziffer noch lange nicht einen alleinigen Mafsstab der Gesundheitsverhältnisse. Im einzelnen betrachtet, ist zwischen Stadt und Land, kritisch besehen, ein erheblicher Unterschied hinsichtlich der Gesundheit. Dies ist oft genug gesagt und weit öfter, als dem objektiven Wissen entspricht, zum Gegenstand gedruckter Abhandlungen gemacht worden. Speziell gilt von dem oft gebrauchten Schlagwort »Stadtluft und Landluft«, dafs die inhaltliche und praktische Bedeutung dieser Bezeichnung in keiner Weise von dem objektiven Wissen gedeckt wird, dessen Auffindung häufig genug einen aufserordentlichen Aufwand an Arbeitskraft erforderlich macht. Ein Hauptgrund, der an der Vernachlässigung der Erforschung der Luft die Schuld

trägt, liegt in dem Dogma, dafs die Atmosphäre mit der Verbreitung von Infektionskrankheiten nichts zu tun habe, und alle weiteren Kenntnisse daher für die Hygiene entbehrlich seien. Von dieser falschen Voraussetzung ausgehend, ist sogar bei uns die methodische bakteriologische Untersuchung der Luft, man kann sagen ganz vernachlässigt worden. Aber es ist weder das Dogma erwiesen, noch zu erweisen, dafs es ein Gesetz darstellt, noch auch anzunehmen, dafs die Luft für die Gesundheit nur als Keimträger eine Rolle spiele.

Die Atmosphäre, der Urquell unseres Atmungsmaterials, ist selten der Gegenstand der modernen hygienischen Untersuchung; man darf eher sagen, die Lufthygiene gehört zu den vernachlässigsten Gebieten. Dies ist um so mehr zu bedauern, als aller Voraussicht nach die Natur der Sache einen allmählichen Ausbau der Experimente erforderlich macht, und gewifs nicht plötzliche Veränderungen, sondern längere Untersuchungsperioden der Luft von wissenschaftlichem wie praktischem Werte sein werden.

Die Gründe der Vernachlässigung liegen auch auf methodischem Gebiete, indem die Beantwortung der uns interessierenden Fragen neue Mittel der Forschung beansprucht, und zwar stets quantitative Messungen.

Das Studium der Luft hat unzweifelhaft eine grofse Bedeutung, aber es ist nicht ganz leicht, nach jahrzehntelanger Vernachlässigung verschiedener einschlägiger Fragen einiges ins rechte Lot zu setzen.

Wenn ich in folgendem Beiträge zur Erweiterung unserer Kenntnisse bringe, so wird es nach manchen Richtungen hin an ungelösten Problemen nicht fehlen. Es liegt der Grund hierfür weniger in meiner eigenen Schuld als vielmehr in dem Umstand begründet, dafs auf diesem Gebiete der Einzelne für sich nur wenig zu fördern vermag, dafs es eines breiten Interesses und der Mithilfe oder gleichsinniger Arbeit vieler Gelehrter bedürfte, um entschiedene Fortschritte zu erzielen.

Wenn man von der Eigenart hygienischer Zustände der Grofsstädte reden will, so empfiehlt es sich, weniger von den

Eigenschaften zunächst der Luft selbst, als vielmehr von besonderen Eigentümlichkeiten des Grofsstadtklimas, welche recht sinnenfällig sind, auszugehen, da über deren Bedeutung für das Wohlergehen der Menschen wenigstens einigermafsen Einverständnis herrscht.

Trübe Wintertage sind eine gefürchtete Erscheinung. Die trostlose Dunkelheit lagert schwer auf dem Menschen, übt auf die Stimmung von Gesunden und Kranken nachteiligen Einflufs. Sonnenarme November und Dezember sind schwerer zu ertragen als Januar und Februar mit strenger Kälte und hellen Tagen.

Wenn die trübe Witterung an sich eine klimatische Eigentümlichkeit darstellt, wird man sich mit ihr abfinden müssen; anders steht es, wenn keine Notwendigkeit uns zwingt, das Übel ruhig hinzunehmen.

In dieser Lage findet sich in der Tat mehr oder weniger vollkommen jede Grofsstadt, trübe Witterung ist in unseren Breiten in hervorragendem Mafse letzteren zu eigen. Die Vorstellung, die man sich von den klimatischen Verhältnissen einer Grofsstadt machen kann, sind etwas aus vielerlei Beobachtungen Abstrahiertes.

Die sinnenfälligen Unterschiede zwischen Stadt- und Landluft sind so ausgeprägt, dafs über solche Ungleichheiten zum mindesten kein Zweifel bleibt, wenn wir auch gewifs noch ziemlich weit davon entfernt sind, alle mafsgebenden Verschiedenheiten zu kennen.

Unter diesen Eigenschaften ist die Unreinheit der Luft, was den Staub anlangt, vielleicht noch die bekannteste, obschon viele meinen mögen, auf dem Lande kann es ebenso staubig sein wie in der Stadt. Im Grunde genommen ist es ja auch nicht nur der vulgäre Staub, der sich in der Stadt verbreitet findet, sondern der Staub aus den Schornsteinen, Flugasche und Rufs sowie kleinste Tröpfchen öliger Natur, die durch Kondensation aus teerigen Produkten entstanden sind. Diese Dinge sind immer vorhanden, auch wenn kein auffälliges Qualmen einzelner Schornsteine bemerkbar ist.

Im allgemeinen wird die Masse der Menschen weit weniger von der gleichmäfsigen Durchschmutzung der Luft mit Staub und Rufs berührt, als von dem gelegentlichen Rufsen einer einzelnen Esse. Gewohnheit und Trägheit im Beobachten machen den Menschen gleichgültig und lassen ihn oft an auffälligen Erscheinungen in der Natur vorübergehen; Rauch und Rufs lassen sich nämlich auch bei feiner Verteilung in der Atmosphäre erkennen an vielen optischen Veränderungen, sie lassen sich riechen, was brenzliche Stoffe und Säuren betrifft, an fühlbaren Störungen der Funktionen erzeugen sie die Hypersekretion der Schleimdrüsen der Trachea und Bronchien, an dem die Mehrzahl der Stadtbewohner leidet. Gewifs ist freilich, dafs es auch Unreinheiten der Atmosphäre gibt, deren Natur schwieriger zu erkennen und nachzuweisen ist.

Die Luftverschlechterung besteht auch an den heitersten Tagen.

Wer mit dem Bahnzug einer Grofsstadt sich nähert, sieht diesen Dunst und Schwaden über der Häusermasse liegen oder als feurige Masse, durch die Strafsenbeleuchtung erhellt, über dem Ganzen schweben. Von einem erhöhten Standpunkt würden wir finden, wie diese Masse ihre Form ändert, wie sie verschoben, mit dem Winde weiter ins Land geblasen wird, und wie der Wind seine Reinheit an dem Weichbilde der Stadt in die Häusermasse hineinschiebt. Wir können an Städten in engen Tälern sehen, wie der Wind die Stadtatmosphäre streckt und ausdehnt, und wie ein paar hundert Meter darüber die reine Luft über den Städteschwaden hinwegzieht, während wir talwärts schreitend in das Meer schlechter Luft wieder untertauchen. Der Dunstkreis reicht zeitweise höher hinauf, oft hält er sich auch mehr in Häuserhöhe und den Strafsen. Wer in ihm sich befindet, findet den Himmel weniger blau, mehr fahl und grau. Die langen Reihen der Häuser verlieren sich allmählich in unbestimmten Umrissen und zu verwaschenen Gebilden und Formen. Der eigentliche Städter nimmt von all diesen Erscheinungen recht wenig Notiz, sie sind zu allgewohnt.

Es ist dies ein entschiedener Mangel an hygienischem Denken. Trübe Luft ist ebensowenig etwas Vertrauenerweckendes

wie trübes Wasser, Reinheit beider ein naturgemäfses Verlangen.

Der Flufs- und Wasserverunreinigung im allgemeinen kann man mit ganz anderen Methoden gegenübertreten als der Luftverunreinigung, zu deren Bekämpfung der Einzelne völlig machtlos ist. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle tritt an Stelle der Dunstschicht die regelrechte Wolkenschicht, besonders in den Morgen- und Nachmittagsstunden ausgeprägt, dicht genug, um jeden direkten Sonnenstrahl abzuhalten — Hochnebel.[1]) Die Wolkenbank kommt zeitweise auch weit herab und lagert in den Strafsen als völliger Nebel, — Tiefnebel — den Verkehr mehr oder minder unterbindend.

Wenn man sich für diese Fragen interessiert, wird es leicht sein, allmählich die Abstufungen der Durchsichtigkeit der Luft nach gewissen Merkmalen zu erkennen, wie der Farbe und Verschwommenheit bestimmter Gebäude — Häuser, Kirchen — die in verschiedenem Abstande stehen. Wie ich aus den analytischen Ergebnissen als Kontrolle weifs, ist eine solche optische Probe durchaus nicht so fehlerhaft als man meinen könnte.

Die Schicht der Wolken ist häufig sehr gleichmäfsig, ohne alle Gliederung in einzelne Massen spannt sie sich wie ein Gewölbe über die ganze Stadt; die Erscheinungen hängen, wie man genau weifs, mit dem Kohlenverbrauch enge zusammen. Besonders in London kennt man diese innige Beziehung zwischen Rauchgefahr und Nebelgefahr. Den Spuren Londons folgen alle anderen Millionenstädte, solange es keinen Ersatz für die Kohle bei der Heizung gibt, oder die Reinheit der Verbrennungsgase und deren Rufsfreiheit nicht anders und besser fortschreitet, wie bisher geschehen ist.

Der Londoner Nebel, der gefürchtetste Repräsentant seiner Art, ist freilich, wie man meint, etwas anders beschaffen als der von anderen Städten, nicht weifs und leicht, vielmehr grau und besonders dicht, so dafs der Kutscher die Pferde nicht mehr sieht, das Laternenlicht in 8—10 m Entfernung die Wirkung

1) Oft kaum mehr als 100 m über dem Erdboden beginnend.

verliert. Die innige Verbindung von Rauch und Nebel erzeugt den sog. Erbsensuppennebel. Die Nebel Londons wurzeln aber gewifs nicht in der Rauchentwickelung der Grofsstadt allein.

Der dichte tieflagernde ist nur eine extreme Äufserung einer auch sonst bestehenden hochgradigen Luftverunreinigung. Er ist ein Symptom neben anderen, die sich täglich darbieten. Wie man am einzelnen Schornstein sieht, dafs der Wind den Rauch weiterführt über die Dächer der Nachbarn hinweg, so geht es auch mit der Städteluft. Wer in der Windrichtung liegt, erhält in der Nachbarschaft einer Stadt die schlechte Luft zugeblasen. London macht sich 25—30 Meilen weit im Lande fühlbar.

Aus der Stadtluft wird nicht mit einem Schlage die Landluft. Wer in der Linie der häufigsten Windbewegung dort wohnt, wo der Wind zuerst die Stadt trifft, oder in einiger Entfernung davon, wird häufig in der Stadt noch gute Landluft haben, der Nachbar einer Stadt am Abflusse der Windmasse dagegen schlechte Luft.

Die durch Städte verunreinigte Atmosphäre tritt allmählich in den Zustand der Selbstreinigung. Die Entstäubung erfolgt einmal durch die Verlangsamung der Luftbewegung zum Teil in Strafsen und Höfen, dann vor der Stadt im Freien durch Felder und Wiesen, die den Luftstrom verlangsamen, vor allem durch die Wälder. Auch der unmittelbare Kontakt spielt für die Entstäubung eine Rolle. Staub bleibt an festen Gegenständen hängen. Entstäubend wirkt der Regen und Nebel, ersterer, der auch Gase auflöst und zu Boden fällt, des odorisierend und zerstörend das Ozon auf feinst verteilte Substanzen, sterilisierend der Sonnenschein, mit um so gröfserer Kraft, je höher der Staub in die Lüfte hinaufgetragen wird.

Es ist zweifellos zeitgemäfs, einige Betrachtungen zur Frage der grofsstädtischen Luftveränderung anzustellen, da man doch die Wege kennen sollte, welche die grofsen Städte zu nehmen sich anschicken, und es meines Erachtens ohne weiteres nicht zulässig erscheint, alle Sorten Erfahrungen der einen Grofsstadt auf die anderen zu übertragen.

Die Grofsstadtbildung schreitet, wie oben gesagt, sehr rasch voran; die Zahl der Grofsstädte hat sich von 32 im Jahre 1900 auf 41 im Jahre 1905 gehoben. In diesen Grofsstädten leben 11,5 Millionen Menschen; also ein erheblicher Bruchteil der Nation überhaupt.

Berlin im engeren Sinne, wie wir es nachstehend anführen, hat 1905 2,035 Millionen Einwohner, mit dem direkt zusammenliegenden Charlottenburg — 277583 —, Rixdorf — 152858 — und Schöneberg — 140972 — rund 2,6 Millionen Einwohner.

Dem Rauch und Rufs in der Atmosphäre sind längst schon schädliche Wirkungen unmittelbarer Art zugeschrieben worden; natürlich ist von akuten Nachteilen nur selten ein einigermafsen befriedigender Nachweis zu liefern. Wir leben noch in einem Zeitalter, in welchem die Kenntnisse chronischer Wirkungen der Medikamente, der Nahrungsmittelverfälschungen, sonstiger ungünstiger äufserer Einwirkungen in ihren Anfängen der Erkenntnis stehen und dem Forscher stets noch immer die grobsinnige, schnellwirkende Störung den Gesichtskreis trübt. Von den allerwenigsten Einflüssen wissen wir zahlengemäfs, welche Nachteile eine monate- und jahrelange Einwirkung besitzen, was zur Folge hat, dafs man überhaupt solchen Wirkungen wenig Interesse entgegenbringt. Das schärfste Reagens auf Luft, welche durch Rauch verändert ist, sind uns unter dem Lebenden die Pflanzen. Hier fordert die Natur des Rauches zu klaren und bestimmten Unterschieden auf. Holz- und Holzkohlenrauch sind sozusagen indifferent, schädigend zeigt sich der Stein- und Braunkohlenrauch, dann folgen in verschiedenen Abstufungen die Industriegase, Röstgase der Pyritöfen, Säurefabriken, Glasfabriken, Ringziegelöfen usw.

Das Interessante und Bemerkenswerte in diesen Untersuchungen der Forstwissenschaft sind für uns nicht eigentlich der Nachweis, das Wie und Wieviel der akuten und schweren Schädigungen und die Vernichtung des Baumbestandes, die im relativen, beschränkten Umkreis, also bei grofser Nähe oder gröfster Intensität der Giftwirkung gewisser Rauchgase eintritt, als der Beweis der Benachteiligung des Wachstums durch langdauernde Einwirkung hochverdünnter Gase.

Im Sinne solcher chronischen Schädigungen läfst sich sagen: für benachbarten Waldbestand sind kleinere und mittlere Ortschaften, auch wenn sie zahllose einzelne Kohlenfeuerungen haben, kaum schädlich, höchstens durch Rufsbildung. Ein bis zwei Kilometer Entfernung sichert die empfindlichen Fichtenwaldungen schon vollständig.[1])

Grofse Städte — Dresden — mit ausgedehnter Industrie lassen chronische Schäden in der vorherrschenden Windrichtung an Fichten jedoch erkennen.

Schlimmer ist die Situation bei ausgesprochenen Fabrikstädten, wo chronische Schädigungen in gröfserem Umkreis vorkommen, wie einzelne Waldreviere in der Umgegend von Chemnitz erkennen lassen.

Wie sich innerhalb der Stadt die Pflanzen an einzelnen Orten erhalten, darüber scheinen eingehende Erhebungen nicht vorzuliegen. Es wird nur im allgemeinen das schwierige Fortkommen empfindlicher Pflanzen erwähnt, und in London haben ja gerade die Pflanzenschädigungen zu eingehendem Studium über die Rauchbeschaffenheit geführt. Angus Smith hat von den englischen Städten gesagt, dafs unter dem Einflufs ihrer verunreinigten Atmosphäre das Wachstum der Bäume überall litte.

In dieser Allgemeinheit besagt dies natürlich nicht viel für die Qualität der Luft; es könnten doch auch Bodenverunreinigungen, sonstige insanitäre Bedingungen für die Pflanzen etc. in Frage kommen.

Eine interessante Angabe über die fortschreitenden Schädigungen von Pflanzen bei gröfserer Ausdehnung der Städte findet sich bei R. Hartig: Über die Einwirkung des Hütten- und Steinkohlenrauches, München, 1896, S. 35.

Der Park des Prinzen L. v. B. lag in den 80er Jahren noch aufserhalb der Stadt und war gegen Westen frei. Neben verschiedenen Laubholzbäumen waren in dem Park gut gedeihende Fichten. Seitdem ist der Park von allen Seiten umbaut worden.

---

1) Wislicenus, Über eine Waldluftuntersuchung. Freiburg i. S. 1901.

Zuerst machte sich im Frühjahr 1887 Krankheit der Fichten bemerklich, Rötung und Nadelabfall. Seitdem ist die Fichte dortselbst so gut wie verschwunden. Ähnliches beobachtete Hartig in dem östlich und nordöstlich von München gelegenen englischen Garten, die Fichten zeigen durchweg die Symptome der Rauchvergiftung. Aus einer Privatmitteilung von Prof. Göbel entnehme ich, dafs im Innern der Stadt München Koniferen schon lange nicht mehr gedeihen. Der städtische Gartenbaudirektor, Herr Mächtig zu Berlin, hatte die Freundlichkeit, mir über seine Erfahrungen betreffs der Rückwirkung der Berliner Luft auf die im Freien kultivierten Pflanzen Aufklärung zu geben. Rufs und schweflige Säure machen sich danach sehr bemerkbar, besonders auf die Arten Pinus, Abies und Picea. Am besten hält sich noch Taxus, weniger gut Thuja, Chamäcyparis, Iuniperus und Ilex.

So schwinden also allmählich Fichten, Tannen, Kiefern und Lärchen. Weifsbuche, Rotbuche und Birken gehören gleichfalls zu den empfindlichen Pflanzen, während die Eichen, Ulmen, Ahorn, Pappeln mehr Widerstand leisten.

Diese Vorkommnisse sind alle recht bemerkenswert, da es sich in den meisten Fällen, wie z. B. auch in München, keinesfalls um stärkere Rufsverunreinigungen handelt und der Gehalt der Luft an Rauchgasen ein äufserst kleiner sein dürfte. Zahlenmäfsige Grundlagen sind nicht bekannt.

Wie ich an anderer Stelle auseinandergesetzt habe, glaubt man den Wirkungen der Rauchgase auch an einem bedeutsamen Vorkommnis der menschlichen Gesundheit auf die Spur gekommen zu sein.

Eine bedeutsame statistische Beobachtung, die im letzten Jahrzehnt bekannt geworden ist, liegt in der gleichzeitig mit einer Abnahme der Phthisemortalität einhergehenden Steigerung der Mortalität an anderen Lungenkrankheiten. In Preufsen ist trotz Abnahme der Phthise 1897/1901 die Summe der durch Erkrankungen der Atmungsorgane erfolgten Todesfälle dieselbe gewesen wie 1875/1879 — Ascher, Berl. Klin. Wochenschr., 1903, pag. 1012 —. Soweit sich übersehen läfst, hat die Gesamt-

mortalität durch Lungenerkrankungen, namentlich in der Altersklasse 0—15, eine beträchtliche Zunahme erfahren; in den übrigen Altersklassen eine Abnahme bis zu dem 70. Jahre, darüber hinaus eine Zunahme.

Auf ganz die gleichen Beziehungen zwischen Phthise und Lungenkrankheit im allgemeinen haben übrigens schon früher, gelegentlich des Kongresses zur Bekämpfung der Tuberkulose als Volkskrankheit — Berlin 1889 — Mitteilungen des Kaiserl. Gesundheitsamtes hingewiesen. Die Summe der Phthise und der sonstigen Lungenerkrankungen ist in einzelnen Ländern sehr nahe übereinstimmend, dagegen die Phthisemortalität sehr schwankend. Von 10000 Einwohnern starben 1890—1900:

	an Phthise:	an anderen Lungenkrankheiten:	Summe:
Deutschland	22,1	28,3	50,4
England und Wales	13,9	33,6	47,5
Schottland	17,2	34,0	51,2
Irland	21,3	30,1	51,4

Die Summe der Schädlichkeiten für die Lunge, die zum Tode führen, sind in den vorstehend aufgeführten Ländern wenig verschieden, aber die Summanden höchst ungleich. England hat annähernd sechs Zehntel der Phthisemortalität von Deutschland, aber entsprechend mehr an Lungenkrankheiten.

Nun mag ja dahingestellt bleiben, ob nicht bis zu einem gewissen Grade, wie Rahts zu meinen scheint, die ungleichen Diagnosen dabei eine Rolle spielen oder auch die Willkürakte der Standesbeamten bei der Eintragung der Todesfälle, indem bald mehr bei Phthise, bald mehr bei den entzündlichen Lungenkrankheiten registriert wird, aber das kann bei den Mittelzahlen für ganze Länder nicht die ausschlaggebende Rolle spielen, auch nicht hinsichtlich der doch feststehenden Schwankungen zwischen Phthise und anderen Lungenkrankheiten von Jahr zu Jahr.

Diese Zunahme der entzündlichen Krankheiten der Lunge neben dem Zurückgehen der Tuberkulose scheint in ländlichen Kreisen eine andere zu sein als in den industriellen. (Ascher.)

Wenn man auch noch nicht mit gröfster Sicherheit sagen kann, wie sich diese eigenartige Koinzidenz erklärt, so liegt doch die Vermutung nahe, den Grund in zu ungesunder Beschaffenheit der Lunge zu suchen. Die schwache Lunge hat die Neigung, irgend einmal zu erkranken. Welcher Keim es sein wird, der die Infektion ausführt, kann wohl wechselnd sein.

Im Jahre 1890 hat die Influenza eine starke Verminderung der Tuberkulose hervorgerufen, weil erstere die tuberkulös Veranlagten zuerst getroffen hat, statt der Tuberkulose fielen sie der Influenza zum Opfer.

In ähnlicher Weise könnten andere entzündliche Prozesse in den Krankheitsverlauf eingreifen und in frühen Jahren, ehe es noch zur Ausbildung der Phthise kommt, dem Leben ein Ziel setzen.

In einer eben erschienenen Veröffentlichung hält Ascher an den bisherigen Angaben über die Zunahme der nicht tuberkulösen Erkrankungen der Atmungsorgane in Preufsen fest und macht auf analoge Vorkommnisse in Bayern, Sachsen und Amerika[1]) aufmerksam. Er glaubt, dafs die zunehmende Rauchgefahr eine Erklärung für diese Vorkommnisse gebe und verweist namentlich auch auf die hohe Sterblichkeit an akuten Lungenkrankheiten bei den Ruhrkohlenbergarbeitern.

Die Schädlichkeit des Rauches ist schon lange angenommen und auch oben näher auseinandergesetzt worden; gewifs wäre es wichtig, die Rauchplage eingehender an verschiedenen Orten zu verfolgen.

Über die Möglichkeit vielleicht auch Wahrscheinlichkeit, dafs der Rauchreichtum der Luft etwas für die Gesundheit Schädliches bedeutet, kann füglich kaum ein Zweifel sein.

Anders aber liegt bezüglich des Nachweises einer Koinzidenz mit schlechter Luft und den Erkrankungen. Es ist ja ein solcher Beweis kaum, sobald auch nur mit dem Mafsstabe der der Genauigkeit üblichen ätiologischen Forschung gemessen, zu erbringen. Fehlt es doch an jeder Kenntnis darüber, wie sich die durch

1) Einflufs des Rauches auf die Atmungsorgane. Stuttgart, 1905. Enke.

Rauch bedingte Luftverschlechterung überhaupt im Lande verteilt, und ob die verunreinigte Luft einigermafsen mit den Bezirken der häufigeren Lungenerkrankungen zusammenfällt; es fehlt weiter an dem Nachweis, ob die Luftbeschaffenheit der Atmosphäre allein schädigt oder ob der Aufenthalt in den Stuben mit dazu gehört, um Schädigungen auszulösen.

Es ist leider das bisher vorliegende tatsächliche Material über die Luftverschmutzung ein ganz minimales; eine Charakterisierung der Grofsstadtluft oder Fabrikstadtluft ist nur an einigen Beispielen zu zeigen, aber nicht im entferntesten ein Vergleich zwischen einzelnen Orten im Lande selbst durchzuführen. Es könnte weiter die Schädlichkeit einer Luftverunreinigung auch in ihren Folgen auf die klimatischen Umwälzungen zu suchen sein.

Unsere Vorstellungen über das, was Grofsstadtluft ist, haben dadurch, dafs sie aus allerlei einzelnen und nebenbei gesagt, recht wenig fundierten Beobachtungen abgeleitet sind, etwas zu sehr Abstraktes und tragen die Gefahr in sich, dafs durch Kombination verschiedenartig gewonnener Erfahrungen mehr oder minder ein Zerrbild entstehen kann.

Zur Kenntnis der Grofsstadtluft bedürfen wir der Einheitlichkeit der Untersuchung, der umfassenden Prüfung und der möglichst zeitlich zusammenfallenden analytischen Messung.

Die Literatur gibt Zeugnis für das Interesse, mit dem man zeitweise die Rauchschäden unserer modernen Feuerungsanlagen betrachtet hat. Recht ernst hat man aber die Sache nie genommen auch nicht hinsichtlich der Vorschläge zur Besserung der bisherigen Verhältnisse. Trotz eines nicht unerheblichen Aufwandes an Rede pro und contra Rauch, blieb das Resultat im allgemeinen multo fumo, poco arrosto.

Es ist auch erstaunlich, darauf habe ich schon oben hingewiesen, wie wenig man auf die direkte Untersuchung der Luft in den Grofsstädten selbst ausgegangen ist, wie wenig Material zur Beurteilung einschlägiger Fragen zugrunde gelegt werden kann.

II. Kohle- und Brennmaterialverbrauch.

Wie weit die Vorstellungen, die man sich aus einigen die atmosphärischen Eigenschaften betreffenden Tatsachen abgeleitet hat, und die man aus Mangel an konkretem Wissen verallgemeinert richtig und zutreffend sind, läfst sich zurzeit nicht sagen. Man wird wohl oder übel einmal den Versuch machen müssen, die atmosphärischen Verhältnisse einer Stadt einer näheren Untersuchung zu unterziehen, und sei es auch nur, um die Lücken unserer bisherigen Forschung aufzudecken.

Alle solche Untersuchungen scheinen an dem Mangel zu leiden, dafs der überwältigenden Gröfse der Erscheinungen gegenüber unsere methodische Forschung sich nur mittels einzelner, man kann sagen winziger Stichproben, weiter zu helfen bemüht ist.

Aber schliefslich stehen wir dem Luftmeer und seiner Verunreinigung gegenüber nicht ungünstiger da als den Flufs- und Wasserverunreinigungen gegenüber, deren analytische Erforschung meist unter denselben erschwerenden Bedingungen erfolgt, wie die soeben für die Luftuntersuchung angedeuteten. Bei Stromuntersuchungen, wie bei dem Rhein, sind die entnommenen Proben verschwindend klein zur Wassermasse.

Beim Luftozean schöpfen wir nur in einer bestimmten Tiefe, in einer Zone, die zur ganzen Höhe der Atmosphäre eine verschwindende ist, aber allerdings die Bedeutung besitzt, dafs wir eben in *ihr* leben müssen.

Die Schwierigkeiten sind grofs, aber man darf nicht an kleinlichen Bedenken scheitern, es gilt, das Ganze im Auge, Stützpunkte für die Betrachtung zu gewinnen und für die Zukunft den weiteren Ausbau vorzubereiten.

Nach vielen Richtungen aber haben wir es bei dem Studium der Atmosphäre mit Methoden zu tun, die durch Verwendung grofser Luftmassen geschärft und verfeinert werden können und dann in ihrer Exaktheit so ziemlich alles übertreffen, was irgendwie andere Prüfungen leisten können.

Zur Beurteilung der Luftverschlechterung der Stadtluft durch Rauch und Schornsteingase steht uns in der Betrachtung des

Kohlen- und Brennmaterialienkonsums der Städte ein zwar nicht ganz exaktes, wohl aber relatives Mafs des Vergleiches zu Gebote. Inwieweit die Statistik ein ganz einwandfreies Material liefert, kann ich nicht mit Bestimmtheit beurteilen, da es aber vorläufig nicht auf kleine Unterschiede ankommt, dürften die gebotenen Zahlen mit genügendem Vertrauen aufgenommen werden.

Wir glauben zu bemerken, dafs seit Jahren in Berlin die Verschlechterung der Atmosphäre im langsamen Zunehmen begriffen ist, was wahrscheinlich nicht ein vorübergehendes zufälliges Ereignis, sondern vermutlich die gesetzmäfsig fortschreitende Verschmutzung der Atmosphäre bedeutet. Vielleicht kann es ein allgemeines Interesse beanspruchen, wenn ich in folgendem eine Schätzung unseres Kohlenkonsums unternehme.

Der Kohlenverbrauch in Berlin ist, wie sich von selbst aus dem Wachstum der Stadt ergibt, in der Tat in fast beständiger Zunahme; er setzt sich zusammen aus den wenig qualmenden Steinkohlen, Koks und Steinkohlen- und namentlich Braunkohlenbriketts. Braunkohle und Braunkohlenbriketts dürften vielleicht jetzt $^6/_{10}$ des Steinkohlen- und Koksverbrauches ausmachen.

1888 wurden eingeführt an Stein- und Braunkohlen: 1,94 Mill. Tonnen, 1897: 2,56 Millionen, 1900: 2,94 Mill., 1901 3,0 Millionen, und 1904: 2,83 Millionen.[1])

Am 1. Dezember 1890 hatte Berlin 1,58 Millionen und am 1. Dezember 1900 1,89 Mill. Einwohner. Der Brennstoffmehrbetrag wächst also rascher als die Bevölkerungsziffer.

Nach dem statistischen Jahrbuch der Stadt Berlin betrug der Verbrauch pro Person und Jahr in Kilo:

	Torf u. Holzkohle	Steinkohlen, Koks, Briketts
1888	9,7	1357,
1897	6,7	1561.

Dasselbe ergibt sich bei weiterem Vergleich der jüngsten Jahre. Diese Erscheinung erklärt sich aus dem stetig wachsenden Umfang der Industrie.

1) Ich halte mich an die Angaben des statistischen Jahrbuches der Stadt Berlin.

Das Stadtareal hatte 1888 6336 ha[1]), 2897 6340 ha. 1895 trafen auf 1 qkm 26146 Menschen im Mittel, 1905 etwa auf 1 qkm 32130.

Auf 1 qkm berechnet sich an Kohlenverbrauch:

26146 · 1561 = 40815 Tonnen = à 1000 kg
32130 · 1561 = 56154 » = » » »

Auf 1 qm Bodenfläche kommen pro Tag 112 g Kohlenverbrauch = 40,8 kg pro Jahr bis 56,1 kg pro Jahr.

Die grofsen Zahlen besagen an sich nicht viel, es kommt vor allem auf den Vergleich mit anderen Grofsstädten an, deren Weltstellung eine ähnliche ist.

Wir besitzen zunächst in einer Veröffentlichung von Gautier[2]) Angaben über Paris in denselben Einheiten, wie ich sie eben für Berlin mitgeteilt habe. Er findet pro qm Bodenfläche 37,5 kg pro Jahr an Kohlenverbrauch.

Da sich der Konsum in Berlin seit 1895 gehoben hat, für damals mit 40,5 kg berechnet wurde und jetzt auf 56,1 kg geschätzt werden kann, so überschreitet der Kohlenverbrauch in Berlin jenen zu Paris um ein Erhebliches. Der Vergleich auf gleiches Bodenareal führt übrigens zu keineswegs recht sicheren Zahlen, vielleicht nur dann, wenn die Städte, wie Paris oder das eigentliche Berlin, ein geschlossenes Ganze bilden, wo die unbebauten Strecken im Verhältnis zu den bebauten nicht zu sehr in Betracht kommen. Die benachbarten Städte Charlottenburg, Schöneberg haben glücklicherweise fast nur $^1/_3$ so starke Überbauung wie Berlin.

In noch höherem Mafse als Paris interessiert uns London. Ich habe diesbezüglich nur eine ältere Angabe finden können.

1889 wurden in London rund 6,39 Mill. Tonnen verbraucht bei 4,45 Mill. Einwohnern = 1436 kg pro Kopf und Jahr gegenüber 1561 kg pro Kopf wie oben für Berlin angegeben.[3])

1) Die Nachbargemeinden haben folgende Flächen: Charlottenburg 2037, Schöneberg 346 ha. Die Dichte der Bebauung beträgt für Charlottenburg 11329 pro ha, Wilmersdorf 840, Schöneberg 10489 pro ha.

2) Revue d'hygiène, 1900, p. 793.

3) Nicht zu verwechseln mit Rauchkonzentration und Rauchwirkung.

Wenn das Londoner Stadtgebiet = 310 qkm umfafst, so treffen auf 1 qkm $\frac{4450000}{310} = 14354$ Menschen, demnach fast nur halb so viel wie in Berlin, was aus der grofsen Zahl kleiner Häuser zu London wohl verständlich erscheint. Es ist ja allbekannt, dafs Berlin unter den Grofsstädten des Kontinents die dicht bebauteste ist, ein Übelstand, der sich erst in den nächsten Jahrzehnten in besonderem Mafse geltend machen dürfte.

Die Rauchentwicklung wäre — falls man schon jetzt einen solchen Vergleich wagen könnte — in London geringer und zwar erheblich geringer — als in Berlin. Der Gedanke, ähnliche Erhebungen auch für andere Städte mit ausgedehnter Industrie einer rechnerischen Verwertung zu unterwerfen, scheitert an den nötigen materiellen Grundlagen. Für einige Grofsstädte mit reger Industrie wären Vergleiche noch von Interesse; vielleicht genügt diese Anregung, um zur Erhebung weiterer statistischer Werte anzuregen.[1])

Eine Reihe von Städteverwaltungen waren in der Lage, über den Verbrauch bzw. die Zufuhr von Kohlen in das Stadtgebiet Auskunft zu geben; ich bin den betreffenden Verwaltungen, die meine Bestrebungen unterstützten, zu gröfstem Dank verpflichtet.

Hannover hat 1904 durch die Bahnhöfe 269910 t Kohlen erhalten, Dresden 998413 t, Chemnitz 551438 t, Magdeburg 906000 t, Köln 1489818 t.[2])

Daraus berechnet sich pro Person und Jahr:

		Einwohner		
für	Berlin	. . . .	1561	kg Kohle als Verbrauch
»	London	. . . .	1436	» » » »
»	Hannover	— 250044 Einw. —	1079	» » » »
»	Dresden	— 515000 » —	1939	» » » »
»	Chemnitz	— 244405 » —	2290	» » » »
»	Magdeburg	— 240661 » —	3723	» » » »
»	Köln	— 410600 » —	3626	» » » »

Worauf die aufserordentlich hohen Werte für Köln und Magdeburg basieren, habe ich nicht feststellen können.[3])

1) Berlin besitzt etwa 2000 Dampfkesselfeuerungen.

2) Aufser der Industrie auch die Eisenbahnen mit inbegriffen.

3) Da die statistischen Werte nur Annäherungen sind, hat es zunächst keinen Wert, weitere Klassifizierungen des Brennmaterials vorzunehmen.

Der Konsum an Kohle übertrifft in einigen anderen Grofsstädten also wesentlich die Werte für Berlin, die öffentliche Kalamität des Rauches braucht aber nicht mit der Masse des Kohlenbrandes parallel zu gehen, wenn eine Reihe sonstiger Bedingungen, auf die wir später eingehen, ungleich sind. Wie in Berlin, hat in fast allen mir bekannten Fällen der Kohlenverbrauch weit rascher zugenommen als die Bevölkerungsziffer.[1])

Auf 1 Einwohner trifft früher und jetzt:

	früher	jetzt
Hannover . .	1166 kg	1079 kg Kohle
Dresden . . .	800 »	1939 » »
Köln	1142 »	3626 » »

Es ist von grofsem Interesse, im Gegensatz zu diesen kohlenverschlingenden Zentren die Zahlen einer italienischen Grofsstadt — Florenz — zu vergleichen.

Nach einer mir zugegangenen Notiz betrug der mittlere Jahresverbrauch innerhalb des Gebietes des städtischen Zolles während der Jahre 1902 bis 1904 an Doppelzentnern:

Holzkohlen	156000 =	15600 t.
Brennholz .	210000 =	21000 »
Kleinkohlen	20000 =	2000 »
Koks . . .	90000 =	9000 »
Steinkohlen	62000 =	6200 »

Die Holzkohle hat den Brennwert guter Steinkohle, das Holz kann man pro kg = 3000 Kal. rechnen, = 0,4 des Brennwertes guter Kohle. Da oben alle Zahlen wesentlich als »Kohle« verrechnet wurden, rechne ich hier das Holz auf Kohle als Brenn-

1) In der Denkschrift des Verbandes deutscher Architekten und Ingenieure, Heft 1, Berlin 1893, sind ältere Angaben enthalten; es heifst dort:

Verbrauch für	Hannover	1879	140000 Tonnen
» »	Dresden	1888	208000 »
» »	Köln	1885	290000 »

Steinkohlen.

Da mir die näheren statistischen Angaben fehlen, auch kleine Differenzen ohne Bedeutung sind, ging ich von der Volkszählung von 1890 aus und machte nach dem bis 1895 beobachteten Wachstum entsprechende Abzüge.

wert um. Dann findet man, dafs 41 200 t pro Jahr verbraucht wurden.

Die Zollzone umfafst 165 000 Einwohner, also pro Kopf und Jahr nur 250 kg »Kohlen«.

Man sieht also, was die Milde des Klimas und der Ausschlufs der grofsen mit Dampf betriebenen Industrie für eine enorme Bedeutung für die Rufsfreiheit vieler, wohl der meisten italienischen Städte bedeutet.

Man beachte aber auch die Art des verbrannten Materiales, Holzkohlen und Brennholz, die bei uns kaum mehr in Frage kommen, spielen für den italienischen Konsumenten eine grofse Rolle.

Die Verbrennungsweise der Kohle ist in den verschiedenen Grofsstädten verschieden, aber sie übt soweit eben Ofen oder Kamine ihren Einflufs auf die Rauchbildung haben, kaum einen so durchgreifenden Einflufs, dafs dadurch sich ganz besondere Eigentümlichkeiten der Rufsbildung ergeben dürften.

Dem äufseren Eindruck nach würde man, wie ich meine, die Londoner Luft für unreiner halten wie die von Paris oder Berlin; ich möchte aber diesen persönlichen Eindrücken nicht zu viel Gewicht beilegen. Nun könnte man zur Bestätigung dieser Empfindung wenigstens anführen, dafs die grünen Pflanzen sich in Paris und Berlin in einem zweifellos besseren Zustande präsentieren wie in London, was auf eine bessere Verdünnung der Rauchbestandteile hinweist, ferner dürfte man die schon oben genannte gröfsere Nebelhäufigkeit in London als Ausdruck unreinerer Luft auffassen.

Aber der letzte Punkt gibt vielleicht gerade Anlafs zu einer weiteren Betrachtung der für die Luftverschlechterung mafsgebenden Nebenumstände. Hängt die schlechte Luft ausschliefslich vom Kohlenverbrauch ab oder nehmen auch andere Momente daran Anteil? Ganz zweifellos. Ein Hauptfaktor ist die absolute Gröfse der Rauchmassen, welche die Kalamität erzeugt.

Die Intensität des Kohlenverbrauches, berechnet auf die Flächeneinheit steht zwar in Berlin über jener von London, aber die

absolute Quantität der Rauchmassen und die Gröfse des Areals sind Faktoren, die gleichfalls berücksichtigt sein müssen. Eine noch so starke einzelne Rauchquelle wird durch die Luftbewegung und Mischung unschädlich gemacht. Eine qualmende Fläche von 310 qkm wie London ist das Grab für jeden frischen Luftzug, der in seinen Eigenschaften total verändert werden mufs, und alles was in der Windrichtung über die Stadtgrenzen hinausliegt, mit seinem schlechten Atem erreicht. Ehe ein Wind dieses Rauchmeer von London durchdringt, mufs seine Gewalt doch eine sehr, vielleicht nur selten vorkommende Höhe erreichen.

In dieser selten eintretenden gründlichen Säuberung der Luft durch das ganze Stadtgebiet liegt offenbar der Hauptnachteil der eigenartigen Atmosphäre der gröfsten Stadt der Welt.

Die Rauchschwängerung der Atmosphäre ist zwar für das Entstehen der Stadtnebel unentbehrlich, zum zweiten aber gehört dazu eine gewisse Ruhe der Atmosphäre. Starke Luftbewegung ist mit dem Stadtnebel unvereinbar. Wie auch die Wolken an den Bergkuppen vorüberwogen, der Strafsennebel steht oder bewegt sich langsam.

Die Ruhe der Atmosphäre kann natürlich die Eigenart eines Klimas sein, sie ist aber gewifs auch die Folge der städtischen Überbauung des Geländes überhaupt; denn diese gibt eine Hauptursache für Reibung des Windes und Minderung seiner Kraft.

Es wäre von grofsem Interesse, zu wissen, inwieweit mit der Ausdehnung der Städte der Luftstrom, welcher über dieselben hinwegfliefst, eine beträchtliche Verlangsamung erfährt. In den Höfen und in den Strafsen ist dies sicherlich der Fall. Wolpert[1]) hat in einer Reihe von Fällen auf die grofsen Unterschiede dieser Art hingewiesen. Hann macht auf den Übelstand und Schwierigkeiten der Windmessung aufmerksam[2]), der in dem lokalen Charakter solcher Messungen liegt; immerhin gibt er für die Stadt Wien[3]) 2,2 m pro 1 Sekunde und für eine frei vor der Stadt gelegene

1) Arch. f. Hyg. LII, S. 22.
2) Klimatol., Bd. I, S. 73.
3) a. a. O. S. 84.

22 m hohe Warte 5,2, also eine über doppelt so grofse Windbewegung an.

In den Übelständen einer Grofsstadt nimmt demnach die Behinderung der Luftzirkulation, also auch die Ansammlung der schlechten Luft eine wichtige, vielleicht recht ausschlaggebende Stelle ein. Die Nebelentstehung wird durch die Stagnation zweifellos gefördert. Kann man für die Stagnation der Luft zum Teil die Bauweise verantwortlich machen, so verhalten sich in dieser Behinderung der Luftbewegung selbstredend die verschiedenen Städte höchst ungleich, je nach dem Areal ihrer Ausdehnung; denn letzteres ist ja so aufserordentlich verschieden. Man begreift, dafs die 310 qkm Londons wieder anders wirken als die etwas bescheideneren Flächen der kontinentalen Rivalen.

London hat in seiner Lage durch die Nähe des Meeres und durch die Wassermasse der Themse weiters noch eine zur Nebelbildung drängende Eigentümlichkeit, nämlich den hohen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre überhaupt. Die klimatische Lage ist also ein weiterer Faktor neben der Rufserzeugung, Bauweise und Ausdehnung überhaupt.

Ich verkenne aber auch nicht lokale Einflüsse, wie Art der Feuerung, Art des Materials, Verteilung zwischen Hausbrand und Industrie; doch stehen diese Momente mehr in zweiter Linie. Die zeitliche Verteilung der schweren Nebel in die winterliche Zeit oder die Übergangsmonate im Frühjahr und Herbst lassen ohne weiteres die hohe Bedeutung der sonstigen klimatischen Eigentümlichkeiten erkennen.

III. Brennmaterialverbrauch für Hausbrand und für Fabriken.

Das Brennmaterial nimmt in einer Grofsstadt sehr verschiedene Wege der Verwendung. Ein Teil geht in die Gasfabriken und dient mit dem flüchtigen Teil der Kohlen zur Beleuchtung, ein Teil fliefst den Familien für häusliche Zwecke zu, ein anderer der Industrie.

Wir wenden uns jetzt von allgemeinen Erwägungen zu konkreten Betrachtungen lokaler Verhältnisse.

Wie viel die Rufsentwicklung aus den Ofen und wie viel jene aus den Fabrikschornsteinen etwa ausmachen könnte, ist meines Wissens überhaupt für grofse Orte oder Städte nicht näher untersucht worden.

Es ist sehr zu wünschen, einen wenigstens annähernden Ausdruck hierfür zu erreichen.

Die Denkschrift des Vereins deutscher Architekten und Ingenieurvereine von 1893 nimmt an, dafs die Grofsfeuerungen im Jahr 1879 in Hannover 36% der gesamten in der Stadt benutzten Kohlenmenge verbrauchten, in Dresden (1888) 52%, in Köln (1885) 54%, so dafs man im Mittel auf 47% für die Industrie käme.[1])

Wie diese Zahlen gewonnen sind, ist in der Original-Abhandlung nicht angegeben. Es handelt sich, wie man aus meiner Zusammenstellung sehen kann, sicherlich um schwankende Verhältnisse insofern, als immer mehr der Hausbrand relativ gegenüber dem Verbrauch für technische Zwecke abnimmt und zwar in einem rasch wachsenden Verhältnis.

In obiger Denkschrift ist übrigens auch ausgeführt, wie viel Tonnen auf Hausbrand zu rechnen wären. Der Konsum für letzteren kann, pro Kopf der Bevölkerung gerechnet, unmöglich grofse Schwankungen ausmachen, da für die genannten Orte grofse klimatische Unterschiede nicht in Betracht kommen. Rechne ich, wie viel Kilo Kohlen auf 1 Person der Bevölkerung treffen, so findet man keine einheitliche Zahl, sondern grofse Differenzen, die den Tatsachen nicht entsprechen können, nämlich:

für Hannover	900 kg	pro	Kopf	und	Jahr
» Dresden	400 kg	»	»	»	»
» Köln	488 kg	»	»	»	»

Welche von diesen Zahlen und ob überhaupt eine dem wahren Mittelwert entspricht, läfst sich nicht sagen.

In will in nachstehendem versuchen, auf einem offenbar bis jetzt nicht betretenen Wege zu einer besseren Fixierung des Hausbrandes zu kommen, nach meinen eigenen Ermittelungen.

1) Tschorn, »Die Rauchplage«. Jena 1903, S. 62.

Bei einer Reihe von Personen habe ich durch Umfrage festgestellt, wie grofs der Konsum an Brennmaterial im Jahre sei. Aufserdem habe ich von den hauptsächlichsten in Frage kommenden Kohlen, Braunkohlenbriketts usw., Proben auf ihre Gesamtverbrennungswärme untersucht. Auch das Berliner Leuchtgas hat mir genügend oft zu einer Brennwertbestimmung im Junkerschen Kalorimeter gedient. An der Hand dieser Zahlen läfst sich feststellen, wie viel der Einzelne im Jahre an Wärme für die Beheizung aufwendet.

In der Literatur fand ich auch einige Angaben über den Aufwand von Brennmaterial im häuslichen Budget, ausgedrückt in Geld bzw. in Prozenten des Einkommens. Ich habe hiervon noch Einiges für unsere Verhältnisse verwerten zu können geglaubt.

Die Verbrennungswärme und Zusammensetzung des Verbrennungsmaterials läfst sich mit grofser Annäherung angeben, da man weifs, woher die in Berlin verbrannten Kohlen stammen.

Die wichtigsten Daten über C-, H-Gehalt und Verbrennungswärme entnehme ich einer Publikation Buntes, die Beurteilung der Brennstoffe, indem ich die Mittelwerte aus den dort angegebenen Zahlen nehme.

	C-Gehalt	H-Gehalt	Kal.
Ruhrkohlen	80,27	4,61	7747
Saarkohlen	74,51	4,88	7172
Schlesische	75,61	4,51	7097
Sächsische	74,00	5,02	7073
Steinkohlenbriketts	82,18	4,19	7765
Braunkohlenbriketts . . .	52,37	4,34	4822
Gaskoks	84,36	0,83	7001

Nach eigenen Untersuchungen Berliner Proben:

	C-Gehalt	H-Gehalt	Kal.
Anthrazit	—	—	8051
Steinkohlen	—	—	7705
Braunkohlenbriketts A . .	—	—	4903
» » B . .	—	—	4748
Berliner Gas 1 l			5200

Lege ich die Herkunft des Berliner Brennmaterials zugrunde, so würde sich nach Buntes Mittelwerten für 100 g ergeben:

	C	H	kg-Kal.
für die Steinkohlen	77,02	4,64	729,3
» » Braunkohlenbr. . . .	52,37	4,34	482,2

Meine Zahlen kommen der Rechnung also ganz nahe.[1])

Für 1 Pfg. erhält man an Kalorien:

bei Steinkohlen — Berliner Mittel —	2700 kg-Kal.
» Braunkohlenbriketts	1727 »
» Gas	520 »

Der Wärmeverbrauch der einzelnen Familien liefs folgende Gröfsen feststellen:

Nach eigenen Erhebungen habe ich gefunden:

	Zahl der Personen	Verbrauch im Jahr Tonnenkalor.	pro Person
Familie P.[2])	7	16133	2305 t-Kal.
» P..	7	11643	1662 »
» L..	2	7264	3632 »
» W.	2	6952	3476 »
» B.	4	7264	1816 »

Auf Grund anderweitiger Mitteilungen aus dem Geldaufwand berechnet:

Familie[3]) I	7	13800	1971 t-Kal.
» II	6	11143	1857 »
» III	2	4312	2156 »

Die Feststellung des Feuerungsverbrauches in den Familien ist gar nicht schwierig, wohl aber unterliegt die weitere Berechnung mittlerer Zahlen gewissen Bedenken.

Der Brennmaterialienverbrauch hängt selbstredend mit der Wohlhabenheit zusammen und damit ist auch die Gröfse der ge-

1) Ich füge noch einige eigene Messungen seltener Brennstoffe bei:

Torf, wasserfrei	4,691 Kal. pro 1 g
Lufttrockenen Kork . .	6,701 »
Briketts aus Sägespänen .	4,567 »

2) Einkommen: P = 3000—4000 M. L, W, B = 3000 M.

3) Einkommen: I = 1930 M.; II = 1127 M.; III = 523 M.

wählten Wohnung verbunden. Er tritt aber nicht als etwas relativ Gleichbleibendes auf, ebenso wenig wie die Kosten für die Wohnung überhaupt. Letztere mindern sich bei steigendem Einkommen. Gleiches liegt auch für den Aufwand für Brennmaterial vor; aus solchen Werten über den für Heizung benötigten Geldaufwand läfst sich aber immerhin der Konsum an Material ableiten.

Auf die Kopfzahl der Bewohner den Heizkonsum zu berechnen, ist manchmal nicht ganz zutreffend, weil die »Wohnung« nur als Schlafaufenthalt benutzt und dann vielfach nicht beheizt wird. Am meisten Heizmaterial wird dort verbraucht, wo im Hause gearbeitet wird, in der Heimindustrie.

Für weitere Betrachtungen ist es wünschenswert, diese Angaben in »Kohlenkonsum« mittlerer Zusammensetzung auszudrücken.

Was die Kohlenbeschaffenheit anlangt, so überwiegt hier in Berlin die schlesische Kohle ganz und gar. Von 1819000 t insgesamt trafen: 1904 1211000 t auf ober- und niederschlesische Kohle. Von den Braunkohlen, nämlich 1151300 t, wurden 1120000 t in der Form von Briketts gebrannt.

Bei Proben der hauptsächlich verwendeten Kohle fand ich 7,701 kg-Kal pro 1 g, was vielleicht für das ganze als »Kohle« verbrannte Material um Einiges zu hoch sein könnte. Immerhin findet man neben der schlesischen Kohle noch viel englische, also Gaskohle und westphälische, wohl auch bessere Ware. Für die Braunkohlenbriketts ist 4,625 kg-Kal. ein genügender Mittelwert.

Als Gesamtmittel in Steinkohlen- und Braunkohlenbriketts hätte man also 5,85 kg-Kal. und als Wärmewert für 1 Pfg. 2286 Kal.

Wenn 5,85 kg-Kal. = 1 g Kohlebraunkohlengemische,
ist 1 » = 0,169 g » »
1000 » = 169 g = 1 Tonnenkalorie.

Aus meinen Beobachtungen finde ich durch Addition und Bildung des Mittelwertes pro Person:

Wärmemengen	2236 t-Kal.
aus den weiteren Zahlen . .	1946 »
Als Gesamtmittel	4182 t-Kal.

= 2091 Tonnenkalorien pro Jahr.

1 t-Kal. = 169 g Brennmaterial — (Kohle und Braunkohle) also 2091 t-Kal. = 353,4 kg Kohleverbrauch.

Vergleichen wir dies Ergebnis mit den Schätzungen des deutschen Architekten- und Ingenieurvereins, so hatte ich aus deren Erhebungen für den Hausbrand abgeleitet:

für Hannover . . . . 900 kg
» Dresden . . . . 400 »
» Köln . . . . . 488 »

Die Werte für Hannover sind demnach viel zu hoch, die beiden anderen Angaben weichen aber nicht so weit von meinen Ergebnissen ab.

Die älteren Angaben über die Beziehungen zwischen Fabrikverbrauch und Hausbrand, die noch überall in der Literatur mitgeschleppt werden, haben offenbar schon längst aufgehört, den Tatsachen zu entsprechen. Die Hebung der Industrie hat durch ihren Kohlenverbrauch den Hausbrand, der früher noch erheblich ins Gewicht fiel, mächtig überflügelt.

Aus meinen Zahlen lassen sich noch eine Reihe nicht uninteressanter Schlufsfolgerungen ziehen.

Wenn 21 146 Personen auf 1 qkm leben, so brauchen diese 26146 × 353 kg Kohlebraunkohlengemisch = 9229,5 t für Hausbrand, während tatsächlich 40 815,0 t in Summa verbraucht werden. Der Privat- und Heizgebrauch würde demnach 22,6 % vom Ganzen ausmachen, also fast 1/4 und 3/4 kämen für technische und Fabrikzwecke in Benutzung. Gewifs ist dieser Wert nur eine Annäherung, gibt aber wenigstens Anhaltepunkte über das, was die Industrie eines Ortes bedeutet.

Die oben gemachten Angaben lassen erkennen, in welch hohem Mafse die verschiedenen Städte durch ihre Industrie sich im Kohlenverbrauch unterscheiden. Demgemäfs schwankt natürlich auch der auf Hausbrand zu rechnende Teil.

Mit Rücksicht auf die für Florenz näher festgestellte Menge des Kohlenverbrauchs wäre zu bemerken, dafs diese Zahl kleiner ist als der für Deutschland verrechnete Hausbrand, was auf klimatische Unterschiede zu setzen wäre, wenn die Werte eben genügenden Grad der Genauigkeit besitzen. Die Menge der

Wärme, welche für die Küche im engeren Sinne verwandt wird, läfst sich am einfachsten und sichersten dort, wo das Gas nur für Kochzwecke benutzt wird und zwar sehr zuverlässig feststellen, weil mir durch eigene Untersuchungen der Brennwert des Berliner Gases ganz genau bekannt ist.

In denjenigen Fällen, in denen auf Gas gekocht wurde und somit die entwickelte Wärme sich leicht berechnen liefs, machte die Wärme für die Speisebereitung in absoluter Zahl pro Jahr aus 585 t-Kal. pro 1 Person und 21,8 % der ganzen für den Haushalt geforderten Wärmemenge = 112,5 cbm a 10 Pfg. = 11,25 M.

Daraus würde folgen, dafs ein ganz erheblicher Teil des ganzen Wärmekonsums auf die Stubenheizung zu rechnen ist, etwa $^4/_5$ der Gesamtsumme.

Rechnet man an Stelle von Gas diesen Brennstoffbedarf auf den Kohlendurchschnitt um, so hat der Kohlenverbrauch — 1 t-Kal. = 169 g Kohle — für 1 Person und zu Küchenzwecken allein 98,7 kg im Jahr ausgemacht.

In den Wintermonaten, auf die sich ja der Kohlenverbrauch für Heizzwecke der Wohnung beschränkt, ist die Rauchproduktion aus dem Hausbrand erheblich an der Gesamtverschmutzung der Atmosphäre beteiligt.

Die Wärme für Kochzwecke beansprucht nur 4,9 % von den ganzen für das Stadtgebiet nötigen Kohlen.[1])

Es entfallen 2,7 % der letzteren für die Sommerperiode, der ganze Rest für die eigentliche Heizperiode.

In absoluten Werten für Hausbrand	9229,5 t
ab für Küche im Sommer	249,0 »
bleibt für die Heizperiode des Winters	8980,5 t
bei 150 Tagen Heizzeit pro Tag	59,8 »
während der Totalverbrauch der Stadt pro Tag .	111,8 »

Im Winter verbraucht man also im Mittel im Hausbrand 53,5 % des Gesamtkohlenverbrauchs, an kalten Tagen mehr, an weniger kalten entsprechend unter diesem Wert.

1) Für Berliner Verhältnisse, für andere Orte erhalten wir auch andere relative Zahlen.

Die eben angeführten Resultate gelten zunächst nur für Berlin, aber im grofsen und ganzen gewinnt man doch ein auch für andere Fälle verwertbares Bild.

Streng genommen, kann man ja noch nicht schliefsen, dafs der Kohlenkonsum ein Mafsstab für die Rufsbildung ist, es könnte ebensowohl der Fall sein, dafs die Industrie aus der gleichen Kohlenmenge bald mehr bald weniger »Rufs« erzeugt, wie auch lokale Unterschiede durch die Art der ortsüblichen Feuerungen, in London Kamine, Berlin Öfen, vorhanden sein können. Wir kommen später auf solche lokale Eigentümlichkeiten zurück.

Nachdem wir in die Wärme- und Energieökonomie einer Stadt einen, wenn auch noch summarischen Einblick getan haben, ist es vielleicht nicht ohne Interesse, diese Bilanzen in anderer Richtung zu erweitern und zu ergänzen.

Der Energieimport zu Berlin umfafst, in Mill. t-Kal. ausgedrückt:

für Kohlen und Braunkohlen etc. insgesamt . .	18112,4
als Gas werden benutzt[1])	920,4
sonach bleibt als Brennmaterial in Öfen und Kesselfeuerung	17192,0
Energieverbrauch durch menschliche Wärmeerzeugung[2])	1581,9.

Der Energieverbrauch des Menschen macht also mithin 8,17% der Gesamtzufuhr an Kohlen aus, wobei noch nicht einmal berücksichtigt ist, dafs ein nicht unerheblicher Teil der Nahrungsmittel zu Verlust geht durch Abfälle im Handel und in der Küche.

Die Nahrungszufuhr, in Energie ausgedrückt, würde demnach noch erheblich gröfser sein, als der Wärmewert der wirklich verbrauchten Kalorien ausmacht.

1) 1 l Gas = 5,2 kg-Kal., 1 cbm = 5200; Verbrauch 1904/05 an Gas für Private = 178 728 584 cbm, für Berlin selbst nur 163 900 000 cbm — es wird etwas an Vororte abgegeben — wozu noch für Strafsenbeleuchtung 13 000 000 cbm, also nur 177 Mill. cbm.

2) Nach meiner Berechnung verbraucht ein Mensch — für die mittlere städtische Bevölkerung berechnet — täglich 2281 kg-Kal.; für Berlin und das Jahr, also 2281 · 1 900 000 · 365 kg-Kal.

Betrachtet man den Energieverbrauch an Heizmaterial in der Familie, so wird derselbe nach meinen Erhebungen pro Person durch

2091 t-Kal. im Jahr bestritten.

Ein Mensch verbraucht im Jahr

2281 · 365 kg-Kal. zur Ernährung
= 832565 kg-Kal.
= 832,6 t-Kal. = 39,8%

der für Beheizungszwecke benutzten Energie.

IV. Untersuchungen über die Rufsbildung bei der Feuerung.

Bei der grofsen Bedeutung, welche Rauch und Rufs in verschiedener Hinsicht für die Städte besitzen, mufs man es auffällig finden, wie wenig man bis jetzt sowohl in sozusagen statistischer Art vergleichend, als auch methodisch prüfend und analysierend gearbeitet hat.

Es können sowohl die chemische und physikalische Beschaffenheit der Schornsteingase Gegenstand der Untersuchung werden, als auch die Menge dieser Produkte einer Untersuchung unterzogen werden.

Nach beiden Richtungen ist das verfügbare Material recht unvollkommen. Mit Bezug auf die Zusammensetzung wissen wir, dafs neben der Kohle und der Flugasche Kohlenwasserstoffe, teerige Produkte, Kohlenoxyd, Oxyde des Stickstoffes und Mineralsäuren, vor allem schweflige Säure in der Schornsteinluft enthalten sind.

Der Rufs ist ein sichtbarer Indikator einer schlechten und ungenügenden Verbrennung und in dieser Eigenschaft zur Erkenntnis von Mifsständen wertvoll.

Eine eingehende treffliche Analyse des Rufses zu Kew und Chelsea hat Dr. I. Russel ausgeführt — Nature 1891, XLV, S. 10 — und weitere Angaben finden sich bei F. W. Oliver — Referat Natur. Rundschau 1891, S. 802.

Unter Rufs werden verschiedene Dinge zusammengefafst. Wie aus der Literatur hervorgeht, verstehen manche darunter diejenigen Anteile des Rauches, welche organischer Natur sind,

in anderen Fällen begreift man darunter die ganze Masse der schwarzen Ablagerung auf den Dächern und anderen Flächen, wie solche in Grofsstädten überall vorkommen. Dieser letztere enthält mehr oder weniger Anorganisches. Man wird im Einzelfalle zu prüfen haben, welche Definition von Rufs den Autoren jeweilig vorschwebt.

Die Menge von Rufs, welche aus den Schornsteinen der Luft übergeben wird, ist nicht so eingehend, wie man meinen möchte, untersucht worden. Es mag das an der methodischen Schwierigkeit, vielleicht auch darin begründet sein, dafs man eben bestenfalls nur Annäherungen hinsichtlich der praktischen Verhältnisse erreichen kann, weil die Art der Feuerung, die Technik der Heizung und viele andere Umstände darauf Einflufs haben.

Die ersten Untersuchungen über Schornsteinluft rühren wohl von Peclet — 1827 — her, dessen Untersuchungen dann 1844 durch weitere Analysen von Edelmann vervollständigt wurden.

Erst bei Scheurer-Kestner finde ich nähere Mitteilung über den Rufsgehalt der Gase — Dingler, polytechn. Journal 1870, Bd. 196, S. 34. — Er liefs die Schornsteinluft durch eine 20 cm lange Asbestschicht eines Verbrennungsrohres streichen, trocknete die Röhre mit Inhalt und verbrannte im O-Strom. Er teilt nur zwei Analysen bei Steinkohlenfeuerung mit. Die eine, ausgeführt bei lebhaftem Feuer mit 8,5% CO_2-Gehalt der Rauchgase, die andere bei gedämpftem Feuer und 14,8% CO_2-Gehalt der Rauchgase. Nach seinen Angaben berechnet, findet man für 1 cbm der Rauchgase

bei lebhaftem Feuer 0,22 g C
» gedämpftem » 0,27 » C.

Auf die verbrannte Kohle überhaupt gerechnet gibt Scheurer-Kestner

0,48%, bzw.
1,27%

Verlust durch Rufs.

Seine Untersuchungen geben mir Anlafs zu Bedenken insofern, als die Menge der untersuchten Rauchgase nur 86 bzw.

57 l betrug, also minimal gewesen sein mufs zu der Verbrennung in einer grofsen Kesselfeuerung, ferner sind überhaupt nur zwei Versuche ausgeführt worden und es ist nicht so eigentlich nur der »Rufs«, also das »feste«, sondern überhaupt all das, was sich in dem Asbest sammelte, der Verbrennung im Sauerstoffstrom unterzogen worden.

Eingehender wurde die Materie durch Chandler-Roberts 1882 behandelt im Zusammenhang mit einer Ausstellung rauchverzehrender Apparate zu London. Das Resultat war der Nachweis, dafs man bei gewöhnlicher Steinkohlenfeuerung annehmen könne, es ginge $^1/_{10}$ der Kohle durch CO, Kohlenwasserstoff, Kohle und Rauch nach der Atmosphäre verloren. Bei der Koksfeuerung sei der Verlust nur halb so grofs, bei Öfen gewöhnlicher Konstruktion sollen die Verhältnisse kaum besser sein.

In positiven Angaben wurde pro 1 kg Brennstoff bestimmt bei offenen Kaminen:

Kohle . . .	0,0933 g Rufs,
Koks . . .	0,024 » »

bei Öfen:

Kohle . . .	0,049
Anthrazit . .	0,005
Koks . . .	0,010.

Die Gase waren dabei etwa 3,3 m über dem Roste abgezogen worden.

Ohne zunächst in eine weitere Diskussion dieser Werte eintreten zu wollen, möchte ich darauf hinweisen, dafs, wie erwähnt, Chandler-Roberts einen Verlust der Kohle bis zu 10% ihres Wertes durch unvollkommenen Verbrauch annimmt, eine Zahl, zu welcher die Werte für Rufs in auffallendem Mifsverhältnis durch ihre Kleinheit stehen. F. Fischer gibt für grofse Heizanlagen — Chem. Technologie der Brennstoffe 1897, I, S. 223 — für 1 kg verbrannter Steinkohle als mittleren Wert 0,008 kg d. i. 8 g Rufs an. Unter Rufs ist wie bei Scheurer-Kestner nur das Verbrennliche gemeint. Auf welcher Grundlage diese Zahl fufst, ist aus dem genannten Werke selbst nicht ersichtlich.

Im Jahre 1879 war in München eine Heizversuchsstation in Betrieb genommen worden, in welcher eine grofse Reihe von Experimenten über Kesselfeuerungen mittels der in München hauptsächlich benutzten Kohlensorten in wissenschaftlicher Weise ausgeführt worden sind. Dabei wurden, wie mir Prof. Ernst Voit mitzuteilen die Güte hatte, auch Rufsbestimmungen ausgeführt.

Zu diesem Zwecke wurde ein besonderes Volumen der Rauchgase durch ein am andern Teil verengtes, mit ausgeglühtem Asbest gefülltes Glasrohr gesaugt. Der in dem gewogenen Rohr gesammelte Rufs wurde nach dessen Verbrennung als Verlust bestimmt und als Kohlenstoff in Rechnung gezogen.[1])

Es wurden in allen Fällen Rauchgasproben von rund 7,0 bis 16,0 l zur Analyse verwendet. Unter 26 Versuchen sind etwa 4 mit ganz aufserordentlich grofsem Rufsgehalt der Luft und wohl durch besondere Umstände der Verbrennung zu erklären. Aus den übrigen 17 Experimenten erhält man einen mittleren Rufsgehalt von 0,489 g pro 1 cbm.[2])

H. Bunte[3]) weist an der Hand vieler und neuer Erfahrungen darauf hin, dafs bei dem Verlust mit den Rauchgasen sich im allgemeinen eine Halbierung für das unverbrannte Gasförmige einerseits und für den festen Rufs anderseits ergibt.

In der Mehrzahl der Fälle wurden für den Verlust durch unverbrannte Gase und Rufs zusammen Werte zwischen 0—4% der Kohle gefunden. Bei rauchschwacher Feuerung übersteigt dieser Verlust, in Wärme ausgedrückt, 5% der Brennmaterialkalorien nicht, er bewegt sich mehr an der unteren Grenze. Unter 40 Fällen waren 20, in denen der Gas- und Rufsverlust im Mittel 1,5 — der Rufsverlust also 0,75% der Kohle — ausmachten.[4])

Hofrat Bunte teilt mir mit, dafs in der Technik als rauchschwache Feuerung solche bezeichnet wird, welche pro Kubik-

1) Bayer. Industrie- u. Gewerbebl., 1879, S. 353.

2) Die abweichenden Extreme gaben einmal sogar 13,8 g Rufs pro 1 cbm

3) Zur Beurteilung der Brennstoffe und der Leistung von Dampfkesseln. München, Oldenbourg, 1902, S. 18.

4) a. a. O., Bunte, S. 19.

meter Rauchgas 1 g Rufs führt, als mittelschwach rauchende Feuerung eine solche mit 2—3 g Rufs pro Kubikmeter; auch bedeutendere Rufsmassen kommen wohl vorübergehend vor.

Dies sind die Grundlagen, auf denen man zur Berechnung einer Rauchschwängerung der Atmosphäre einer Grofsstadt fufsen könnte. Wir wollen zunächst den Versuch machen, darzulegen, zu welchen Konsequenzen dieselben führen.

Die bequemste Rechnung ist es, den Verlust durch Rufs auf die verbrannte Kohle zu beziehen, wählt man als Einheit 1 kg Kohle, so hat man in Gramm an Rufs:

Nach Chandler-Roberts	0,05	Kohlenstoffgehalt von Rufs und Teer.
» Scheurer-Kestner .	4,8	
» » » .	12,7	
» F. Fischer . . .	8,0	Organische Stoffe, wie oben angenommen
Heizversuchsstation:		
günstigste Resultate . .	5,0	
mittlere Fälle bis . . .	12,0	

Nach W. J. Russel ist die gesamte Rufsmasse, wenn man darunter alles Suspendierte der Luft versteht, annähernd doppelt so viel, als der verbrennlichen Materie allein entspricht. Da er aber nur den auf den Glasdächern abgelagerten »Rufs« untersucht hat, und natürlich auf ein Dach auch Staub fällt, sind die Zahlen vielleicht nicht ganz einwandfrei. Ich selbst finde in dem Rufs bei Steinkohlenfeuerung 9% Asche und 91% Organisches (s. unten S. 361).

Die Zusammenstellung über die Rufsentwicklung läfst erkennen, wie differente Ergebnisse gewonnen werden, was bei den verschiedenen Arten der Heizung und der Ofenarten und der ungleichen Bedienung kaum zu verwundern sein dürfte.

Allzu abweichend erscheinen von vornherein die Zahlen von Chandler-Roberts. Gautier und Gréhant haben sich bemüht, für Paris die jährliche Ablagerung von Rufs zu berechnen. Bei 37,5 kg Kohleverbrauch pro Quadratmeter (s. o. S. 337) kommen sie für Steinkohle auf 2 g Rufs pro Jahr (37,5 · 0,05) = 5,5 mg pro Tag. Auch davon ginge noch der gröfste Teil zu Verlust, d. h. er würde mit dem Winde doch weitergeweht.

Gautier und Gréhant[1]) glauben aus den Kohlensäurezahlen der Atmosphäre schliefsen zu dürfen, dafs der Rufs sich vertikal bis 4000 m Höhe verteilt, wobei dann 1 cbm Luft nur 0,0137 mg Rufs enthalten würde.

Zu viel höheren Zahlen kommt man mit jeder der anderen Annahmen. Wir gehen zuerst von der Art der Berechnung aus, dafs wir die Werte über den Prozentverlust der Kohle bei der üblichen Verbrennung zugrunde legen.

Nach Scheurer-Kestners kleinster Zahl — 1,0 — würden wir in Berlin mit 40,8 kg Kohleverbrauch pro Quadratmeter im Jahr 195,8 g Kohle als Rufs erhalten, etwa dieselbe Zahl nach den Angaben der Münchener Untersuchungsstation = 204,0 g pro Jahr, ganz abgesehen von den höheren Werten, mit denen man doch auch noch immer zeitweise oder ausnahmsweise rechnen müfste.

Zu ähnlichen Resultaten, wie oben errechnet, kommt man, wenn man von der Menge der Rauchgase und deren mittlerem Gehalt an Rufs ausgeht. Wir legen dieselben Werte für den Kohlenkonsum der Stadt zugrunde wie vorher.

Die Menge der Rauchgase, welche sich aus bestimmtem Material entwickelt (bei 0° und 760 mm Bar. bestimmt) ist, wenn C = Kohlenstoffgehalt[2]) des Brennmaterials, K = Kohlensäuregehalt in Prozenten der Rauchgase, H = Wasserstoffgehalt und W die Wassermenge bedeuten:

$$= \frac{C}{0{,}536\ K} + \frac{9H + W}{0{,}804 \cdot 100}\ \text{cbm.}$$

Das Berliner Brennstoffgemisch würde für 5—10% CO_2[3]) in den Rauchgasen ergeben:

67,6% C	Mittel für das Kohlengemisch des Gesamtkonsums.
4,4 H	
4,6 Wasser	

1) Revue d'hygiène, 1900, Nr. 9, S. 793.

2) S. Bunte, a. a. O., S. 34.

3) Wohl die häufigsten Grenzen.

Diese Werte in obige Gleichung eingesetzt geben zwischen 25,74 bis 13,2 cbm Rauchgase pro 1 kg Subst. Pro 1 qm Bodenfläche der Stadt entwickeln sich also:

Schornsteingase pro Jahr 816 cbm
» Tag 224 l.

Den Rufsgehalt der Rauchgase hat Scheurer-Kestner zu 0,27 g pro 1 cbm gefunden, wenigstens liefsen die Originalzahlen diesen Wert ableiten. Nach Bunte ist pro Kubikmeter 1 g Rufs als rauchschwache Feuerung zu betrachten.

Wir haben pro Quadratmeter 816 cbm Rauchgase gefunden. Die Rufsmengen werden also mindestens schwanken zwischen

$$816 \cdot 0{,}27 \text{ bis } 816 \cdot 1$$

d. h. zwischen 220,3 und 816,0 g.

Hier würde nur die Minimalzahl dem vorher auf anderem Wege abgeleiteten Werte entsprechen.

Bei diesen grofsen Differenzen, deren Ursprung schwer aufzuklären ist, hat es vielleicht Interesse, auf eine Reihe eigener Untersuchungen einzugehen, die ich schon vor Jahren habe ausführen lassen und sich allerdings nur auf die Ofenheizung im Hausbetrieb beziehen, aber eine wichtige Lücke insofern ausfüllen, als bisher meist nur, von Chandler-Roberts abgesehen, Kesselfeuerungen untersucht worden sind.

Ich sagte oben, dafs man das, was man unter dem Namen »Rufs« zusammenfafst, nicht wirklich immer einer auch nur im technischen Sinne gleichartigen Masse entsprochen hat. Ich habe daher anzugeben, welche Untersuchungsmethode ich selbst angewandt habe; bei Untersuchung der Rauchgase kann es sich wohl um nichts anderes handeln, als um die Trennung zwischen gasförmigem und festem oder dampfförmigem Material. Ich habe die Schornsteingase durch ein glattgespanntes, vorher gewogenes Filter aus Papier [1]) streichen lassen und dieses Filter nach dem Versuch gewogen, in anderen Fällen mit Äther ausgezogen, getrocknet, gewogen und schliefslich verascht.

Gewichtszuwachs — Ätherextrakt + Asche gibt in den meisten Fällen den restierenden Kohlenstoff. Beim Extrahieren mit Äther

1) Hygien. Rundschau 1900, Nr. 6

wird der Kohlenstoff meist besser sichtbar, falls nicht zu viel Asche vorliegt. Die Versuche sind mit einem eisernen Füllofen bester Konstruktion ausgeführt worden.

Die Messung der zur Rufsbestimmung durchgesaugten Luftvolumina wurde mittels nasser Gasuhr vorgenommen. Die Volumen sind also nicht den ursprünglich im Kamin vorhandenen Gasen + Wasserdampf entsprechend, der letztere kondensiert sich, bis er in die Gasuhr eintritt oder in dieser selbst, zu Wasser.

Der Ofen wurde durch einen Heizer, der auch sonst die Bedienung durchführte, vollzogen, unbeeinflufst von jeder besonderen Instruktion. Die Art des Heizens wird bei den Öfen anderer Personen kaum als besser und zweckmäfsiger angenommen werden können.

Wie sich schliefslich durch die Analyse herausstellte, verbrannte der Heizer die Steinkohlen und Koks mit einer geringeren Luftzufuhr als den Anthrazit.

Nach der Farbe des Filters kann man den mehr oder minder vollkommenen Grad der Verbrennung ohne weiteres erkennen.

Die Messung der Gase erfolgt in der Gasuhr bei etwa 25° C; im Sinne der üblichen Berechnung der Rauchgase, die auf 0° und 760 mm Dr. angegeben werden, ist dies nicht, auch ist das Volumen des Wasserdampfes nicht berücksichtigt worden. Wesentliche Anderungen ergeben sich aus beiden Gegenargumenten gegen die Messung nicht, weil sich die Fehler fast kompensieren. Der zum Saugen angewandte Druck betrug 7 mm Hg.

In 1 cbm Schornsteingase wurde in Gramm gefunden: Bestandteile suspendiert:

Zahl d. Versuche	Substanz	Farbe des Filters	mittlere untersuchte Luftmenge in Lit.	pro 1 cbm feste Bestandteile Gramm
3	Steinkohlen,	schwarz . . .	250	0,112
4	Koks . . .	leichtgrau . .	200	0,047
2	» . . .	graubraun . .	1228	0,021
2	» . . .	graugelb . .	800	0,018
2	Anthrazit .	grauschwarz .	200	0,055
2	» .	gelbbraun . .	2356	0,010.

Im Anschlufs hieran habe ich noch eine Reihe von Bestimmungen mit eingehender Analyse des Rufses ausführen lassen. Jede Serie besteht aus 4—7 Einzelversuchen.

Material	Gasmenge, untersucht in Litern	% CO_2 im Gas	Rückstand in Gramm	Ätherextrakt	Asche
Steinkohle	777	7,00	0,167	0,022	0,012
Koks . .	1743	6,61	0,035	0,007	0,009
Anthrazit .	1696	4,34	0,020	0,004	0,010

Für die Berliner Steinkohle kann man als Zusammensetzung rechnen:

C = 77,02
H = 4,64 und 2,0% Wassergehalt
für den Koks . . C = 84,36
» » Gaskoks . H = 0,83 und 8,39% Wasser,
» » Anthrazit C = 88,5
H = 3,2 und 0,65% Wasser.

Daraus würde sich an Rauchgasen berechnen pro 1 kg Substanz bei:

Steinkohlen . . 20,59 + 0,44 = 21,0 cbm.
Koks . . . . . 23,81 + 0,20 = 24,0 »
Anthrazit . . 37,9 + 0,44 = 38,3 »

Legt man beide Reihen (S. 357) über den Gehalt der Rauchgase an Rufs zusammen, so würde man erhalten:

Steinkohlen . . . . 0,167, 0,112 } 0,140 g pro 1 cbm
Koks . . . . . . 0,020, 0,018 } 0,019 »
Anthrazit . . . . . 0,012, 0,010 } 0,011 »

Es träfe also auf 1 kg verbrannter Substanz an Rufs:

bei Steinkohlen . . . . 2,94 g
» Koks . . . . 0,46 »
» Anthrazit . . . . . 0,42 »

Da es sich bei meinen Experimenten nicht um kleine Probeentnahmen, sondern um lange Versuchszeiten handelte, wird anzunehmen sein, dafs diese Mittelwerte den auch sonst in anderen ähnlichen Heizvorrichtungen entstehenden Gasen- und Rufsbestandteilen entsprechen.

Wenn 40,8 kg Brennmaterial pro 1 qm verbrannt werden, wie in der Stadt Berlin, trifft nach meinen Bestimmungen an Rufs:

bei Steinkohlen	120,0	g pro Jahr	= 0,329	g Rufs	pro Tag
» Koks u. Anthrazit	17,95	» » »	= 0,046	» »	» »

Mit den Schätzungen nach den Angaben von Scheurer-Kestner, den Angaben nach den Verbrennungsversuchen der Münchener Heizversuchsstation gehen die obigen Werte befriedigend nahe überein; wenn man bedenkt, dafs die anderen Untersucher ganz verschiedene Kohlenarten und zum Teil grofse Kesselfeuerungen benutzt haben. Ich halte die obige Zahl von 120,0 g Rufs pro 1 qm für den wahrscheinlichsten Wert.

Koks- und Anthrazitheizungen würden eine Verringerung der Rufsmenge auf $^1/_6$ bedeuten. Dafs die Rauchbelästigung nicht auf diesem Wege der Brennmaterialienänderung beseitigt werden kann, versteht sich von selbst.

Die Braunkohle wird in Berlin seltener in Stücken gebrannt, wohl aber als Briketts. Diese gelten nicht als stark rauchentwickelndes Material. — Tschorn, Die Rauchplage. Jena 1903. S. 13.

Von obigen Mittelwerten kann natürlich das, was in den verschiedenen Jahreszeiten in einzelnen Teilen der Stadt passiert und zu einzelnen Stunden, z. B. während der Anfeuerungsperiode, an Rauchentwicklung vorkommt, natürlich abweichen. Auch wäre zu berücksichtigen, dafs an den Sonntagen weniger, an den Arbeitstagen entsprechend mehr erzeugt wird, und dafs des Nachts ein erhebliches Absinken der Rufsproduktion eintreten kann.

In einem vielbesuchten, in einem engen Tal gelegenen Badeort ohne Fabriken hatte ich Gelegenheit, zu beobachten, wie erst von der zehnten Morgenstunde ab die Rufsschwängerung durch

die Braunkohle ihren Anfang nahm, während die früheren Stunden eine recht gute Luft hatten.

Ein Zentralpunkt für die Luftverschlechterung sind oft die Güterbahnhöfe mit ihrem fast nie ruhenden Rangierverkehr, ferner die gröfseren Seehäfen, wie dies in Hamburg, Genua, Antwerpen jedem offenkundig wird.

Von dem nach meiner Untersuchung ermittelten Rufs wird ein Teil im Schornstein zurückbleiben, wenn die Geschwindigkeit der Gase gering ist; die grofsen Feuerungsanlagen werden im allgemeinen, was die Verwertung der Kohlen anlangt, ökonomisch besser arbeiten als die gewöhnlichen Hausheizungen; aber die Gefahr des Qualmens ist gerade bei Heizungen wie in den Fabriken, welche eine überschüssige Luftzufuhr tunlichst vermeiden, vielleicht im Durchschnitt gröfser als bei der verschwenderischen Heizung der Stubenöfen. Das »Suspendierte«, d. h. der Rufs, wird in den einzelnen Fällen keineswegs überall das Gleiche sein. Schon die Farbe der Filter zeigte viele Unterschiede.

Die Farbe der Filter war schwarz bei Kohle, schwarz oder braunschwarz bei Koks und braun bei Anthrazit.[1]) Der Begriff »Rufs« konnte nur bei Kohle und Koks angewendet werden, nicht aber auch auf das suspendierte Material in den Rauchgasen bei Anthrazit.

Am besten geht die ungleiche Zusammensetzung des Rufses aus folgendem hervor. 100 Teile der auf dem Filter bleibenden Substanz gaben:

	Rufs[2]):	Ätherextrakt:	Asche:
bei Kohle . . .	74	17	9
» Koks	54	20	26
» Anthrazit . .	34	19	48

Bei Anthrazit lieferten

386 l Heizgase 72,2 ccm SO_2 bei 0° — 760 mm Dr.
319 l » 87,6 » » » 0° — 760 » »

1) Braunkohlen geben auch eine rotbraune Flugasche.
2) Wesentlich Kohlenstoff.

Bei unserer Steinkohlenfeuerung gab dieselbe Rauchmenge nur 36,7 ccm SO_2 bei $0^0 = 760$ mm Dr. Anthrazit also im Mittel 0,022 % und die Steinkohle 0,009, $SO_2 = 2{,}89$ mg SO_2. Bestimmt wurde die SO_2 als SO_4-Ba nach dem Oxydieren zu SO_3.

Ich glaube nicht, dafs wir vorläufig nötig haben, für Berlin durch eine schärfere Trennung der Fabriken und des Hausbrandes die Zahlen zu korrigieren. Die Werte zur Berechnung für die Rufsentwicklung aus den Aufwendungen für die Industrie sind gar nicht sicherer als meine Berechnung, die von dem Hausbrand ausgeht. Die Schätzung habe ich keineswegs für die erstere ungünstig gestaltet.

Die Menge des Rufses vermindert sich, sobald er in die Atmosphäre kommt durch Absinken. Ein Teil fällt rasch zu Boden; namentlich dort, wo Braunkohle und Steinkohle ausschliefslich geheizt wird, sieht man oft grofse Rufsmassen und Flocken zu Boden fallen, der schwarze Überzug aller Gegenstände spricht für sich.

Dieses Absinken ist zwar ein Akt der Reinigung, aber ein nicht ganz willkommener, denn auf diese Weise gelangt die schädliche Substanz aus Schornsteinhöhe in die Häuser und Strafsen und tritt mit dem Menschen in innige Berührung.

Es wäre nicht uninteressant zu wissen, wie viel sich absenkt. Darüber lassen sich aber nur unter ganz besonderen Umständen ausreichende Angaben machen.

Natürlich fällt mit dem Rufs auch der sonstige Staub nieder, und es wäre vielleicht richtiger, von rufsigem und nichtrufsigem Stadtstaub zu sprechen. Die räumliche Verteilung des gewöhnlichen Staubes und des Rufses in der Flugasche ist eine differente. Ersterer ist sozusagen nur Strafsenstaub und letzterer allgemein verbreitet. Wählt man eine Station, die von der Strafse abliegt, so tritt der Staub gegen den Rufs zurück.

Der Staubgehalt der städtischen Luft ist wohl noch weit gröfseren Schwankungen unterworfen wie der eigentliche Rufsgehalt. Insbesondere bestimmt den Staubgehalt die Pflasterung und Strafsenreinlichkeit neben dem Verkehr, Wind, namentlich Trockenheit usw. Mit dem Staub der Strafsen hat Berlin nur in weit beschränkterem Mafse zu rechnen als andere Städte, da

die feste Pflasterung, zumeist Asphalt, und deren gute Behandlung staubvermindernd wirkt. Der Strafsenstaub ist zumeist niedrig fliegender Staub, wenigstens der Hauptmasse nach. In den Wintermonaten können Wochen vergehen, ehe auch nur für wenige Stunden eine Staubbildung eintreten kann. Von aufserhalb einer Stadt durch den Wind zugeführter Staub gehört bei uns zu den Seltenheiten. Unika waren die Staubfälle im Jahre 1901 im März und im Februar 1903. In diesen Fällen wurde allerorts in Europa Staub, der von einem grofsartigen Sandsturm der Sahara herrührte, gefunden.

Die Menge des Strafsenstaubes dürfte in den Grofsstädten mit guter Pflege des Pflasters eher in der Abnahme als in der Zunahme sein, auch die Beseitigung des Pferdematerials wirkt gleichfalls in diesem Sinne.

Soweit in nachfolgendem vom Rufsgehalt der Atmosphäre gesprochen wird, ist er unter solchen Verhältnissen bestimmt, dafs Strafsenstaub als Mitverunreinigung nicht in Frage kommt.

Die Menge der Rufsbestandteile, die sich über ein Stadtgebiet verteilt, kennt man nur recht approximativ. Das einzige oft zitierte Beispiel ist Manchester; man hat dort bestimmt, dafs auf 14 englische Quadratmeilen[1]) in drei Tagen 660 kg »Rufs« fallen. Daraus würde sich als fallender Rufs 0,080 g pro 1 qm und Tag berechnen. Die Frage müfste wohl mit neuen Methoden wieder aufgenommen, kontrolliert bzw. erweitert werden.

W. J. Russel berichtete auf dem Hygienischen Kongrefs zu London über die Londoner Stadtnebel und die Rufsablagerungen. — Nature 1891, XLV, S. 10. — Man hat dabei auf den Glasdächern zu Kew und Chelsea niedergeschlagene Substanzen gesammelt, wobei 6 t Rufs für die Quadratmeile gefunden wurden. Daraus würde sich 2,3 g pro 1 qm berechnen. Diese Ablagerung hatte sich während der letzten 14 Tage des Februar 1891 gebildet. Daraus würde sich pro Jahr 59,8 g Rufs pro 1 qm ableiten lassen = 0,17 g für den Tag. Das wäre etwa doppelt so viel, als die andere Zahl 0,080 für Manchester bedeutete.

1) 1 Meile = 1609,05 m.

Für das Jahr hätte man

für Manchester	29,2 g	Rufsfall	pro 1 qm
für London .	59,8 »	»	» 1 »

Die fallende Rufsmasse allein ist hier bis zu 30mal gröfser als sie Gautier als Gesamtmenge auf Grund der Versuche von Chandler-Robert berechnet hat.

Eine sehr vollständige Analyse von Steinkohlenrufs gibt Hutton[1]):

	Londoner	Glasgower
Kohle	53,18	35,7
Teer und Öl	18,00	15,0
Ammoniak	1,75	2,8
Alkalien, Kalk, Magnesium, Eisen .	2,24	2,1
Phosphorsaurer Kalk und Tonerde .	2,08	3,2
Schwefelsäure	4,60	7,9
Chlor.	Spur	0,4
Schwefelcyan	0,25	0,0
Kohlensäure	0,70	Spur
Sand	14,40	25,7
Wasser	2,80	7,2

Tissandier sammelte zu Paris 1877 das, was sich auf einer 1 qm grofsen Glasfläche absetzte — Staub und Rufs — und erhielt pro Tag 2,1 — 12,1 mgr Substanz.[2]) Hier handelte es sich um Strafsenstaub, wie denn auch die Zahlen Tissandiers für den Staubgehalt der Luft durch die Wahl seiner Schöpfstelle an einer besonders frequentierten Strafse die Erklärung finden mufs und erneuter Prüfung bedürften.

Die Bestimmung des fallenden Rufses hat Schwierigkeiten insofern zu überwinden, als ein Teil des Rufses immer wieder durch nachkommende Luftbewegungen aufgewirbelt werden kann. Es wird nur der fettige und schmierige, an teerigen Substanzen reiche Rufs auf freien Flächen wie Glasdächern etc. zurückbleiben.

2) Polytechn. Centralbl. 1870, S. 630, und bei Schröder und Reuss, S. 242.

2) Les poussières de l'air.

Wir wenden uns der wichtigeren Frage zu, wie viel von Rufs in den Städten schwebend gefunden wird. Das bisher vorliegende Material ist nur solches, welches gelegentlich bei allgemeinen Staubgewinnungen gewonnen worden ist, daher nicht Rufs, sondern eben nur Staub. Nur unter ganz besonderen Bedingungen kann man darauf rechnen, zuverlässige Werte für den Rufs zu gewinnen. Die methodischen Schwierigkeiten sind sehr grofse. An ihnen sind wahrscheinlich alle bisherigen Versuche, solche Messungen zu machen, gescheitert.

V. Der Rufsgehalt der Stadtluft.

Wie viel von dem Rufs zeitweise in der Luft zu finden ist, läfst sich schwer allgemein beantworten. Der Zustand der Durchräucherung der Atmosphäre hängt von dem Verdünnungsverhältnis zwischen Rauchgasen und frischer Landluft, welche der Stadt zufliefst, ab.

Das Zufliefsen frischer Luft ist ein sehr wechselndes für verschiedene Teile der Stadt, der Strafsen, der Höfe, nach Lage an der Peripherie, freien Plätzen und Bauweise. Ebenso fliefsen auch die Quellen der Verunreinigungen örtlich ungleich.

Einen analytischen Ausdruck für Luftverunreinigung zu gewinnen, setzt eine sehr zahlreiche Untersuchung der Atmosphäre an verschiedenen Teilen einer Stadt, in verschiedener Höhenlage über dem Boden und an möglichst vielen Tagen voraus.

Leider mangelt es bis jetzt für Berlin wie für andere Orte an jeder Grundlage; weder was die suspendierten Bestandteile anlangt, noch auch die gasanalytische Beschaffenheit ist je einer irgendwie genügenden Beobachtung unterzogen worden.

Wir werden aber sehen, dafs alle diese zahllosen Bedenken, die man sich gegen den Wert solcher Luftuntersuchungen aussinnen kann, in der Praxis des wirklichen Befundes sich sehr mindern und die Unregelmäfsigkeiten, die man erwarten möchte, auf recht geringe Gröfsen zusammenschrumpfen, wenn man sich von dem Hauptgrundsatz aller Untersuchungen der Atmosphäre leiten läfst, nur grofse Volumen zur Analyse heranzuziehen.

Über das Vorkommen von Staub und Rufs kann man sich mittels einer von mir schon vor Jahren angegebenen und auch oben für die Rauchgase selbst benutzten Methode eine quantitative Vorstellung verschaffen.

Das Verfahren ist kurz folgendes:

Mittels eines etwa 50 cm langen Glasrohres wird Luft abgezogen nach einer von mir früher für Permeabilitätsbestimmungen benutzten Metallkapsel, in welche ein gewöhnliches Filtrierpapier gelegt und durch Aufschrauben eines eingeschliffenen Ringes fest fixiert wird. Unmittelbar vor der Kapsel schaltet man bei manchen Versuchen z. B. solchen mit Rauch aus Schornsteinen ein T-Stück mit Thermometer ein, um zu verhüten, dafs die Temperatur der angesaugten Luft 150° überschreite. Nötigenfalls wähle man die Glasröhre etwas länger. Nach der Filterkapsel folgt ein seitlich ansitzendes Manometer zur Messung des negativen Drucks behufs genauer Berechnung der Volumina, dann eine Gasuhr und schliefslich die Wasserstrahlpumpe.

Hat man 2000—3000 l durchgesaugt, so genügt dies, um die kleinste vorkommende Rufsmenge aufzufinden. Die benutzten Papiere zeigen auf der Vorderseite den durch Filtration ausgeschiedenen Rufs. Die Papiere nehmen eine leicht graue bis tiefschwarze Farbe an. Legt man ein Papier unter das Mikroskop, so kann man bei auffallendem Lichte die Rufsteilchen gut beobachten, und wenn sie nicht zu zahlreich sind, geradezu zählen. Ihre Gröfse kann sehr verschieden sein, und zwar oft um schätzungsweise das Fünfzigfache variieren. Die Ergebnisse sind demnach sehr befriedigende. Man hat in den letzten Jahren allerlei Filtrationsmethoden, zumeist mit nicht sehr günstigem Erfolge, zur Staubbestimmung angewendet. Zur Luftfiltration sind so gut wie alle möglichen porösen Körper schon vorgeschlagen, zum Teil auch wirklich benutzt worden; neben Glaspulver, Sand, Zucker, Watte, Schiefsbaumwolle, Filtertuch, Schwämmen hatte man auch Papier vorgeschlagen. Jedenfalls hat die Papierfiltration keine methodische Aufnahme gefunden;

denn wenn sie wirklich ausgeführt worden wäre, so hätte man nicht übersehen können, dafs das Verfahren vorzüglich ist, um die Verrufsung der Luft zu studieren.[1])

2—3 cbm Luft färben das Filterpapier völlig grauschwarz, wenn ich die Probeentnahme aus einem Hofe vollzog. Die von Rufs durch Filtration befreite Luft kann man auf 178°, ja auf 258° erhitzen, ohne dafs ein weiter eingeschaltetes zweites Filter eine Farbenveränderung zeigt, die direkt als Verkohlung flüchtiger Substanzen anzusehen wäre. Aber eine etwas gelbliche Nuance des Papiers, allerdings sehr schwach ausgeprägt, erhielt ich regelmäfsig. Das Papier hält feinste Rufspartikelchen besser zurück als mit mächtigen Watteschichten erreicht werden kann. Die künstliche Ozonisierung der Luft verändert die riechenden Bestandteile, eine Minderung der Rufspartikelchen selbst, habe ich nicht sehen können.

Was dem Rauche an Verunreinigung zuzumessen ist, liefse sich meines Erachtens entweder kolorimetrisch durch Vergleichung einer bestimmten »Rufsskala« wohl bestimmen, die Gesamtheit des Suspendierten kann mittels Wägung der Filter erreicht werden. Ich hatte mich früher nicht recht überzeugen können, dafs der auf dem Filter zurückgebliebene Rufs aus freier Atmosphäre wägbar sei, offenbar weil die Proben an recht reinen Tagen der Atmosphäre entnommen waren. Die Wägung des Rufses gelingt aber ganz gut, sie erfordert ganz genaues und exaktes Arbeiten, zuverlässiges Trocknen des Filters, um jeden Fehler auszuschliefsen. Die Tageswerte sind sehr kleine, auch wenn 3—4 cbm Luft angewendet werden. Späterhin liefs ich nur mehr nach zwei Tagen bei 6—8 cbm Luftdurchgang die Filter wechseln und wiegen.

Die Bürgschaft für staubfreie Zahlen erhält man übrigens am ehesten noch im Winter nach Schneefall oder bei nassem Boden. Unter solchen Bedingungen sind die nachstehenden Zahlen gewonnen worden. Auf einem von der Strafse abgelegenen

---

1) S. Hygien. Rundschau, 1900, Nr. 6.

Gartenareal, also bei tunlichster Staubfreiheit, soweit die Strafse in Betracht kommt, wurde gemessen:

Milligramm Rufs in 1 cbm Luft					
Januar 1906		Februar 1906		Februar 1906	
16.	0,23	1.	0,06	16.	0,15
17.	0,04	2.	0,06	17.	0,15
18.	0,18	3.	0,08	18.	0,15
19.	0,06	4.	0,08	19.	0,16
20.	0,09	5.	0,21	20.	0,16
21.	0,09	6.	0,21	21.	0,16
22.	0,11	7.	0,07	22.	0,15
23.	0,18	8.	0,07	23.	0,15
24.	0,10	9.	0,12	24.	0,15
25.	0,16	10.	0,12	25.	0,16
26.	0,13	11.	0,12	26.	0,16
27.	0,11	12.	0,24	27.	0,11
28.	0,11	13.	0,24	28.	0,11
29.	0,08	14.	0,31	Mittel	0,151 mg
30.	0,08	15.	0,31		
31.	0,08				
Mittel	0,114 mg				

Beim Trocknen der Filter geht ein Teil der brenzlichen Produkte verloren, aber keineswegs alle. Wo man auch diesen kleinen Fehler vermeiden will, müfste man im Vakuum über Schwefelsäure trocknen. Das Filterpapier scheint beim Trocknen einen etwas gelblichen Ton zu erhalten. Dies rührt von einer mehr gleichmäfsigen Verteilung der brenzlichen Produkte her.

Im Mittel findet sich also pro 1 cbm Stadtluft

0,140 mg Rufs

bei 60% Reinkohle = 0,084 mg C.

Das Minimum war 0,06 mg Rufs und das Maximum 0,31 mg, demnach Unterschied um das Fünffache.

Witterungs-Beobachtungen.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C mm	Thermometer- Stand ° C	Ab-weichung vom Mittel ° C	Windrichtung und Stärke 0—12	Grad der Bewölkung 0—10	Luftfeuchtigkeit %
20.	9 abds.	761,4	1,2	+ 1,3	WSW 2	10	92
21.	7 mrgs.	60,7	2,1	+ 2,8	W 2	10	94
	2 nachm.	60,8	3,7	+ 2,6	W 2	10	88
	9 abds.	61,5	2,4	+ 2,4	WSW 2	10	91
22.	7 mrgs.	63,8	— 2,5	— 1,7	NNW 4	3	81
	2 nachm.	66,0	— 1,8	— 2,5	N 4	2	68

Bodentemperatur am 20. und 21.: höchste 4,8 und 4,9° C. Am 20. nach mittags, am 21. anhaltender Regen.

Berlin, den 20. Januar 1906.

Höchste Temperatur 3,9° C Tagesmittel der Temp. 1,9° C
Niedrigste Temperatur 1,2° C Norm. Mittel der Temp. 0,0° C.

Berlin, den 21. Januar 1906.

Höchste Temperatur 3,9° C Tagesmittel der Temp. 2,6° C
Niedrigste Temperatur 1,0° C Norm. Mittel der Temp. 0,1° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
22.	9 abds.	767,9	— 4,2	— 4,1	N 4	0	81
23.	7 mrgs.	770,4	— 5,0	— 4,5	NNW 3	10	88
	2 nachm.	772,0	— 2,4	— 3,7	NW 2	10	75

Bodentemperatur am 22.: höchste —3,0° C, niedrigste —° C. Reif.

Berlin, den 22. Januar 1906.

Höchste Temperatur 2,4° C Tagesmittel der Temp. —3,2° C
Niedrigste Temperatur —2,6° C Norm. Mittel der Temp. —0,1° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
23.	9 abds.	773,2	— 2,8	— 3,0	W 2	4	83
24.	7 mrgs.	772,3	— 3,2	— 3,0	SW 2	10	85
	2 nachm.	771,2	— 1,5	— 3,1	SSW 1	10	86

Bodentemperatur am 23.: höchste 0,0° C, niedrigste — 6,0° C.

Berlin, den 23. Januar 1906.

Höchste Temperatur 0,9° C Tagesmittel der Temp. —3,2° C
Niedrigste Temperatur —6,2° C Norm. Mittel der Temp. 0,3° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
24.	9 abds.	769,6	— 2,2	— 2,7	S 1	10	83
25.	7 mrgs.	764,1	— 8,8	— 8,8	S 1	0	85
	2 nachm.	758,1	— 3,4	— 5,2	S 3	0	70

Bodentemperatur am 24.: höchste —1,0° C, niedrigste —9,2° C. Vormittags Schnee.

Berlin, den 24. Januar 1906.

Höchste Temperatur —1,5° C Tagesmittel der Temp. —2,3° C
Niedrigste Temperatur —5,3° C Norm. Mittel der Temp. 0,6° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer		Windrichtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
			Stand	Abweichuug vom Mittel			
		mm	° C	° C	0—12	0—10	%
25.	9 abds.	753,0	— 5,0	— 5,7	SSO 4	0	76
26.	7 mrgs.	751,4	— 2,6	— 2,1	SW 2	10	98
	2 nachm.	754,3	1,5	+ 0,2	W 1	10	93

Bodentemperatur am 25.: höchste — 1,8° C, niedrigste — 7,7° C. Nachts Schnee.

Berlin, den 25. Januar 1906.

Höchste Temperatur — 2,2° C Tagesmittel der Temp. — 5,6° C
Niedrigste Temperatur — 8,8° C Norm. Mittel der Temp. 0,8° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
26.	9 abds.	755,2	1,6	+ 1,4	SW 2	10	96
27.	7 mrgs.	756,9	4,0	+ 4,8	SW 2	10	95
	2 nachm.	757,4	6,3	+ 5,3	SW 3	10	90

Bodentemperatur am 26.: höchste 4,5° C, niedrigste — 2,6° C. Nachts Regen.

Berlin, den 26. Januar 1906.

Höchste Temperatur 1,8° C Tagesmittel der Temp. 0,5° C
Niedrigste Temperatur — 5,1° C Norm. Mittel der Temp. 0,3° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
27.	9 abds.	760,1	5,8	+ 6,2	WSW 3	10	91
28.	7 mrgs.	760,7	5,6	+ 6,0	SW 3	10	88
	2 nachm.	760,1	6,6	+ 5,4	WSW 5	10	77
29.	9 abds.	760,8	6,0	+ 5,9	WSW 5	10	82
	7 mrgs.	761,1	5,2	+ 5,1	SW — 2	10	84
	2 nachm.	759,3	5,4	+ 3,5	SW — 3	10	72

Bodentemperatur am 27. und 28: höchste 5,8 und 6,2° C, niedrigste 4,0 und 5,0° C. Am 27. Sprühregen.

Berlin, den 27. Januar 1906.

Höchste Temperatur 6,3° C Tagesmittel der Temp. 5,5° C
Niedrigste Temperatur 1,6° C Norm. Mittel der Temp. — 0,1° C.

Berlin, den 28. Januar 1906.

Höchste Temperatur 6,6° C Tagesmittel der Temp. 6,0° C
Niedrigste Temperatur 5,3° C Norm. Mittel der Temp. 0,2° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
29.	9 abds.	756,7	5,4	+ 4,6	W 4	10	80
30.	7 mrgs.	756,9	2,9	+ 2,7	WNW 2	10	85
	2 nachm.	757,6	5,8	+ 3,8	W 3	10	73

Bodentemperatur am 29.: höchste 9,5° C, niedrigste 3,3° C. Nachts Regen.

Berlin, den 29. Januar 1906.

Höchste Temperatur 6,1° C Tagesmittel der Temp. 5,4° C
Niedrigste Temperatur 4,4° C Norm. Mittel der Temp. 0,9° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer- Stand		Windrichtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
				Abweichung vom Mittel			
		mm	° C	° C	0—12	0—10	%
30.	9 abds.	755,6	4,0	+ 3,1	W 3	10	84
31.	7 mrgs.	754,8	1,9	+ 1,5	NW 2	10	86
	2 nachm.	761,5	4,2	+ 2,6	WNW 3	10	68

Bodentemperatur am 30.: höchste 7,5° C, niedrigste 2,3° C. Nachts Regen.

Berlin, den 30. Januar 1906.

Höchste Temperatur 6,3° C Tagesmittel der Temp. 4,2° C
Niedrigste Temperatur 2,4° C Norm. Mittel der Temp. 1,0° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Feuchtigkeit
31.	9 abds.	766,1	1,8	+ 1,4	NW 2	5	91
1.	7 mrgs.	764,6	— 0,2	+ 0,5	WSW 2	2	94
	2 nachm.	760,8	2,4	+ 0,2	WSW 2	10	84

Bodentemperatur am 31.: höchste 5,9° C, niedrigste 0,0° C. Reif.

Berlin, den 31. Januar 1906.

Höchste Temperatur 4,3° C Tagesmittel der Temp. 2,4° C
Niedrigste Temperatur 1,5° C Norm. Mittel der Temp. 0,7° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Feuchtigkeit
1.	9 abds.	758,4	2,2	+ 1,8	W 3	10	96
2.	7 mrgs.	755,6	3,1	+ 3,8	SW 2	10	91
	2 nachm.	750,6	5,1	+ 2,9	W 2	10	78

Bodentemperatur am 1.: höchste 5,0° C, niedrigste 1,3° C. Nachmittags Schnee und Regen.

Berlin, den 1. Februar 1906.

Höchste Temperatur 2,6° C Tagesmittel der Temp. 1,6° C
Niedrigste Temperatur —0,9° C Norm. Mittel der Temp. 0,6° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Feuchtigkeit
2.	9 abds.	746,1	2,2	+ 1,8	WSW 3	10	93
3.	7 mrgs.	742,3	1,6	+ 2,2	WSW 3	10	84
	2 nachm.	741,2	3,0	+ 0,7	W 3	9	76

Bodentemperatur am 2.: höchste 5,5° C, niedrigste 2,0° C. Nachmittags Regen.

Berlin, den 2. Februar 1906.

Höchste Temperatur 5,0° C Tagesmittel der Temp. 3,2° C
Niedrigste Temperatur 2,1° C Norm. Mittel der Temp. 0,6° C.

Datum	Stunde	Barometer-stand bei ° C mm	Thermometer- Stand ° C	Ab-weichung vom Mittel ° C	Wind-richtung und Stärke 0–12	Grad der Be-wöl-kung 0–10	Luft-feuch-tig-keit %
3.	9 abds.	740,9	1,4	+ 0,9	SW 2	10	85
4.	7 mrgs.	741,4	0,6	+ 1,2	SW 1	10	96
	2 nachm.	745,8	1,1	— 1,3	SW 2	10	87
	9 abds.	750,7	0,6	—	SW 1	10	92
5.	7 mrgs.	757,3	— 0,3	+ 0,1	NO 1	10	90
	2 nachm.	760,6	0,6	— 1,9	NNO 3	8	87

Bodentemperatur am 3. und 4.: höchste 4,4 und 2,0° C, niedrigste 1,7 und 0,2° C. Am 3. Hagel und Schnee.

Berlin, den 3. Februar 1906.

Höchste Temperatur	3,4° C	Tagesmittel der Temp.	1,8° C
Niedrigste Temperatur	1,2° C	Norm. Mittel der Temp.	0,7° C.

Berlin, den 4. Februar 1906.

Höchste Temperatur	1,5° C	Tagesmittel der Temp.	0,7° C
Niedrigste Temperatur	0,1° C	Norm. Mittel der Temp.	0,7° C.

5.	9 abds.	762,1	— 0,1	— 0,9	NNO 3	0	83
6.	7 mrgs.	762,7	— 1,1	— 1,0	NNO 2	10	90
	2 nachm.	762,3	0,6	— 2,2	N 1	10	85

Bodentemperatur am 5.: höchste 2,1° C, niedrigste — 2,1° C.

Berlin, den 5. Februar 1906.

Höchste Temperatur	1,0° C	Tagesmittel der Temp.	0,0° C
Niedrigste Temperatur	— 1,1° C	Norm. Mittel der Temp.	0,9° C.

6.	9 abds.	761,4	0,3	— 0,5	NO 2	10	87
7.	7 mrgs.	760,1	— 0,8	— 0,4	NW 2	10	88
	2 nachm.	760,3	0,6	— 1,9	W 2	10	78

Bodentemperatur am 6.: höchste 2,4° C, niedrigste — 1,1° C.

Berlin, den 6. Februar 1906.

Höchste Temperatur	0,8° C	Tagesmittel der Temp.	0,0° C
Niedrigste Temperatur	— 1,9° C	Norm. Mittel der Temp.	1,1° C

7.	9 abds.	760,7	0,0	— 0,8	W 2	10	92
8.	7 mrgs.	760,0	0,2	— 0,9	W 3	8	90
	2 nachm.	755,7	3,0	+ 0,8	WSW 3	9	71

Bodentemperatur am 7.: höchste 2,2° C, niedrigste — 0,5° C. Abends Schnee.

Berlin, den 7. Februar 1906.

Höchste Temperatur	0,8° C	Tagesmittel der Temp.	— 0,1° C
Niedrigste Temperatur	— 1,0° C	Norm. Mittel der Temp.	0,9° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C mm	Thermometer- Stand ° C	Thermometer- Abweichung vom Mittel ° C	Windrichtung und Stärke 0—12	Grad der Bewölkung 0—10	Luftfeuchtigkeit %
8.	9 abds.	747,4	0,8	+ 0,4	SW 4	10	82
9.	7 mrgs.	739,6	0,3	+ 1,5	WSW 1	10	83
	2 nachm.	741,4	1,9	— —	W 2	10	80

Bodentemperatur am 8.: höchste 3,5° C, niedrigste — 0,5° C. Nachts Schnee. Schneehöhe 4,5 cm.

Berlin, den 8. Februar 1906.

Höchste Temperatur 3,0° C — Tagesmittel der Temp. 1,2° C
Niedrigste Temperatur — 0,4° C — Norm. Mittel der Temp. 0,6° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
9.	9 abds.	746,1	0,5	+ 0,3	W 1	0	83
10.	7 mrgs.	749,0	— 1,0	+ 0,1	WSW 2	10	92
	2 nachm.	749,1	2,0	+ 0,3	WSW 2	3	71

Bodentemperatur am 9.: höchste 2,0° C, niedrigste — 4,5° C. Nachmittags Schnee.

Berlin, den 9. Februar 1906.

Höchste Temperatur 1,9° C — Tagesmittel der Temp. 0,8° C
Niedrigste Temperatur — 0,1° C — Norm. Mittel der Temp. 0,3° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
10.	9 abds.	746,7	— 0,8	— 0,7	SW 4	0	77
11.	7 mrgs.	744,4	— 1,0	— 0,2	SW 2	4	71
	2 nachm.	744,5	3,3	+ 1,0	SSO 3	9	53
	9 abds.	744,5	0,0	— 0,6	SO 2	2	69
12.	7 mrgs.	744,9	— 2,0	— 0,9	SO 2	1	82
	2 nachm.	746,4	3,4	+ 1,6	SO 2	1	65

Bodentemperatur am 11.: höchste 5,3° C, niedrigste — 2,5° C.

Berlin, den 10. Februar 1906.

Höchste Temperatur 2,2° C — Tagesmittel der Temp. — 0,2° C
Niedrigste Temperatur — 3,3° C — Norm. Mittel der Temp. 0,1° C.

Nachmittags Regen.

Berlin, den 11. Februar 1906.

Höchste Temperatur 3,4° C — Tagesmittel der Temp. 0,6° C
Niedrigste Temperatur — 1,4° C — Norm. Mittel der Temp. 0,6° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
12.	9 abds.	747,8	1,0	+ 0,9	still	0	88
13.	7 mrgs.	748,2	— 0,6	+ 1,2	still	0	85
	2 nachm.	749,1	3,2	+ 2,1	SO 1	10	72

Bodentemperatur am 12.: höchste 5,5° C, niedrigste — 2,5° C.

Berlin, den 12. Februar 1906.

Höchste Temperatur 3,9° C — Tagesmittel der Temp. — 0,8° C
Niedrigste Temperatur — 2,2° C — Norm. Mittel der Temp. 0,2° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer-Stand	Thermometer-Abweichung vom Mittel	Windrichtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
		mm	° C	° C	0—12	0—10	%
13.	9 abds.	749,5	2,0	+ 2,7	SO 2	10	82
14.	7 mrgs.	749,6	1,6	+ 2,9	SO 1	10	89
	2 nachm.	750,7	3,5	+ 1,9	SSO 1	10	72

Bodentemperatur am 13.: höchste 4,5° C, niedrigste —1,9° C.

Berlin, den 13. Februar 1906.

Höchste Temperatur 3,4° C — Tagesmittel der Temp. 1,6° C
Niedrigste Temperatur —0,6° C — Norm. Mittel der Temp. —0,5° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Thermometer-Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
14.	9 abds.	752,0	2,5	+ 2,7	W 1	10	80
15.	7 mrgs.	754,8	2,0	+ 2,6	WSW 2	10	90
	2 nachm.	756,9	3,5	+ 1,0	S 1	10	82

Bodentemperatur am 14.: höchste 5,0° C, niedrigste —0,0° C.

Berlin, den 14. Februar 1906.

Höchste Temperatur 3,9° C — Tagesmittel der Temp. 2,5° C
Niedrigste Temperatur 1,2° C — Norm. Mittel der Temp. 0,0° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Thermometer-Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
15.	9 abds.	758,5	1,6	+ 0,9	still	10	89
16.	7 mrgs.	758,5	1,2	+ 1,4	still	10	89
	2 nachm.	758,1	2,7	—	SSO 1	10	87

Bodentemperatur am 15: höchste 4,1° C, niedrigste —0,5° C. Reif.

Berlin, den 15. Februar 1906.

Höchste Temperatur 3,6° C — Tagesmittel der Temp. 1,9° C
Niedrigste Temperatur 0,7° C — Norm. Mittel der Temp. 0,8° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Thermometer-Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
16.	9 abds.	757,9	1,9	+ 1,0	SSO 2	10	91
17.	7 mrgs.	756,6	— 0,6	— 0,6	SO 1	1	92
	2 nachm.	755,4	5,8	+ 2,9	SO 2	1	58

Bodentemperatur am 16.: höchste 3,5° C, niedrigste —2,0° C. Reif.

Berlin, den 16. Februar 1906.

Höchste Temperatur 2,9° C — Tagesmittel der Temp. 1,9° C
Niedrigste Temperatur 0,1° C — Norm. Mittel der Temp. 1,1° C

Datum	Stunde	Barometerstand	Thermometer-Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
17.	9 abds	753,7	2,9	+ 1,8	SO 2	10	76
18.	7 mrgs.	754,9	2,0	+ 2,5	S 1	10	89
	2 nachm.	756,1	4,0	+ 1,5	S 1	10	87
	9 abds.	757,6	3,2	+ 2,5	O 2	10	97
19.	7 mrgs.	758,4	1,8	+ 2,0	NO 2	10	93
	2 nachm.	758,5	2,6	— 0,1	O 1	10	87

Bodentemperatur am 17. und 18.: höchste 7,4 und 5,2° C, niedrigste — 1,1 und 0,9° C. Regen.

Berlin, den 17. Februar 1906.

Höchste Temperatur	6,1° C	Tagesmittel der Temp.	2,8° C
Niedrigste Temperatur	— 0,6° C	Norm. Mittel der Temp.	1,3° C.

Berlin, den 18. Februar 1906.

Höchste Temperatur	4,4° C	Tagesmittel der Temp.	3,1° C
Niedrigste Temperatur	1,9° C	Norm. Mittel der Temp.	0,9° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer-		Windrichtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
			Stand	Abweichung vom Mittel			
		mm	° C	° C	0—12	0—10	%
19.	9 abds.	758,2	2,4	+ 1,4	SSO 1	10	85
20.	7 mrgs.	757,6	2,0	+ 2,2	OSO 3	10	89
	2 nachm.	757,9	4,0	+ 1,2	SO 3	10	87

Bodentemperatur am 19.: höchste 3,3° C, niedrigste 1,2° C.

Berlin, den 19. Februar 1906.

Höchste Temperatur	3,2° C	Tagesmittel der Temp.	2,3° C
Niedrigste Temperatur	1,1° C	Norm. Mittel der Temp.	1,1° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Feuchtigkeit
20.	9 abds.	758,5	4,4	+ 3,5	SSW 1	10	93
21.	7 mrgs.	759,2	0,8	+ 0,6	SSW 2	9	89
	2 nachm.	759,4	6,3	+ 3,4	SSW 1	9	71

Bodentemperatur am 20.: höchste 5,8° C, niedrigste — 0,5° C. Nachmittags Regen.

Berlin, den 20. Februar 1906.

Höchste Temperatur	4,4° C	Tagesmittel der Temp.	3,7° C
Niedrigste Temperatur	1,8° C	Norm. Mittel der Temp.	1,1° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Feuchtigkeit
21.	9 abds.	758,6	3,1	+ 2,0	SSW 1	10	87
22.	7 mrgs.	758,3	2,2	+ 2,3	SSW 2	10	91
	2 nachm.	757,5	4,7	+ 1,9	W 3	10	74

Bodentemperatur am 21.: höchste 7,2° C, niedrigste 0,3° C. Nachmittags Regen.

Berlin, den 21. Februar 1906.

Höchste Temperatur	6,3° C	Tagesmittel der Temp.	3,3° C
Niedrigste Temperatur	0,7° C	Norm. Mittel der Temp.	1,3° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Feuchtigkeit
22.	9 abds.	756,2	1,4	+ 0,4	SW 2	1	89
23.	7 mrgs.	753,4	1,2	+ 1,2	SW 2	6	92
	2 nachm.	751,0	3,6	+ 0,6	WNW 2	6	67

Bodentemperatur am 22.: höchste 5,9° C, niedrigste — 0,4° C. Nachmittags Hagelschauer, nachts Schnee.

Berlin, den 22. Februar 1906.

Höchste Temperatur	4,9° C	Tagesmittel der Temp.	2,4° C
Niedrigste Temperatur	1,4° C	Norm. Mittel der Temp.	1,2° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer- Stand	Thermometer- Abweichung vom Mittel	Windrichtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
		mm	° C	° C	0—12	0—10	%
23.	9 abds.	749,9	2,0	+ 0,9	still	10	82
24.	7 mrgs.	747,7	0,8	+ 0,6	SO 1	10	89
	2 nachm.	747,8	2,2	— 0,9	OSO 2	10	84

Bodentemperatur am 23.: höchste 4,4° C, niedrigste 0,5° C. Nachts Schnee.

Berlin, den 23. Februar 1906.

Höchste Temperatur	4,1° C	Tagesmittel der Temp.	2,2° C
Niedrigste Temperatur	0,2° C	Norm. Mittel der Temp.	1,3° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer- Stand	Thermometer- Abweichung vom Mittel	Windrichtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
24.	9 abds.	751,3	0,8	— 0,5	WSW 2	10	92
25.	7 mrgs.	755,2	— 1,0	— 1,7	W 1	10	92
	2 nachm.	753,1	3,8	+ 0,2	SW 4	5	65
	9 abds.	748,4	1,4	— 0,5	SSW 3	10	87
26.	7 mrgs.	747,5	0,8	— 0,1	SW 2	1	96
	2 nachm.	747,5	7,5	+ 3,7	SW 3	10	60

Bodentemperatur am 24. und 25.: höchste 3,3 und 5,5° C, niedrigste — 1,6 und — 1,1° C. Schnee und Regenschauer.

Berlin, den 24. Februar 1906.

Höchste Temperatur	2,4° C	Tagesmittel der Temp.	1,2° C
Niedrigste Temperatur	0,8° C	Norm. Mittel der Temp.	1,5° C.

Berlin, den 25. Februar 1906.

Höchste Temperatur	3,9° C	Tagesmittel der Temp.	1,4° C
Niedrigste Temperatur	— 1,4° C	Norm. Mittel der Temp.	2,0° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer- Stand	Thermometer- Abweichung vom Mittel	Windrichtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
26.	9 abds.	746,1	4,7	+ 2,7	SW 2	10	84
27.	7 mrgs.	742,0	3,7	+ 2,3	SO 1	10	97
	2 nachm.	741,8	7,6	+ 3,5	W 2	10	94

Bodentemperatur am 26: höchste 9,0° C, niedrigste 0,0° C. Nachmittags bis nachts Regen.

Berlin, den 26. Februar 1906.

Höchste Temperatur	7,5° C	Tagesmittel der Temp.	4,4° C
Niedrigste Temperatur	0,6° C	Norm. Mittel der Temp.	2,2° C.

Datum	Stunde	Barometerstand bei ° C	Thermometer-		Wind-richtung und Stärke	Grad der Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
			Stand	Abweichung vom Mittel			
		mm	° C	° C	0–12	0–10	%
27.	9 abds.	742,7	7,4	+ 5,1	still	10	94
28.	7 mrgs.	743,5	4,8	+ 4,1	WSW 1	9	94
	2 nachm.	745,4	6,8	+ 3,2	W 2	10	80

Bodentemperatur am 27: höchste 8,7° C, niedrigste 3,0° C. Anhaltend feiner Regen.

Berlin, den 27. Februar 1906.

Höchste Temperatur	7,9° C	Tagesmittel der Temp.	6,5° C
Niedrigste Temperatur	3,6° C	Norm. Mittel der Temp.	2,5° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
28.	9 abds.	747,6	4,0	+ 2,2	W 1	2	87
1.	7 mrgs.	742,4	0,4	+ 0,3	WSW 4	10	92
	2 nachm.	744,5	4,0	+ 0,1	W 4	9	72

Bodentemperatur am 28.: höchste 7,5° C, niedrigste — 0,2° C. Vor mittags Regen, nachmittags Schnee.

Berlin, den 28. Februar 1906.

Höchste Temperatur	7,4° C	Tagesmittel der Temp.	4,9° C
Niedrigste Temperatur	4,0° C	Norm. Mittel der Temp.	2,0° C.

Datum	Stunde	Barometerstand	Stand	Abweichung	Wind	Bewölkung	Luftfeuchtigkeit
1.	9 abds.	744,9	1,6	—	W 3	10	84
2.	7 mrgs.	746,9	0,2	— 0,1	WNW 3	1	89
	2 nachm.	748,5	3,7	— 0,4	WNW 4	10	70

Bodentemperatur am 1.: höchste 5,3° C, niedrigste — 0,5° C. Schnee und Hagelschauer.

Berlin, den 1. März 1906.

Höchste Temperatur	4,3° C	Tagesmittel der Temp.	1,9° C
Niedrigste Temperatur	0,1° C	Norm. Mittel der Temp.	1,8° C.

Die Zunahme an Rufs steigerte sich an einzelnen Tagen naturgemäfs ganz gewaltig, auch kann man an dem Manometer der Gasuhr sehen, wie sich die Poren des Filters ruckweise verlegen, also plötzliche Rufswellen — unsichtbare — die Luft durchziehen.

Die Beteiligung der Kohle an den Ablagerungen ist eine zweifellos an den einzelnen Tagen sehr ungleiche. Manchmal

wird mehr Flugasche, manchmal mehr schwarzer färbender Rufs zugetragen.

Die Bestimmung des Rufses im engeren Sinne läfst sich aus der Farbe der Filter ableiten. Wenn man sich eine Rufsskala anfertigt, indem man gewogene Mengen von reinem Rufs — gewaschen, mit Alkohol und Äther behandelt — auf Filtern verteilt. Dies läfst sich nur erreichen, wenn die Filter, wie Dr. Nawiaski festgestellt hat, vor dem Aufbringen der Rufsaufschlemmung mit Alkohol befeuchtet werden.

Am stärksten rufsvermindernd hatten die Regentage gewirkt, wie dies übrigens schon von dem Vorkommen des Staubes in der Luft bekannt ist.

Das Zusammentreffen grofser Rufsmengen und grofser Mengen CO_2 in der Luft mit trüben Tagen war ganz unzweifelhaft.

Aus den Rufsbestimmungen würde ich schätzend ableiten können, dafs die Berliner Atmosphäre unserer Umgebung des Instituts meist etwa 1/1000 Rauchgase enthält, eine Schätzung, die ziemlich gut mit den Erfahrungen, die ich auf anderem Wege gewonnen habe, übereinstimmt.

Durch die Schwerkraft und das Absinken von Asche und Rufs wird die Zusammensetzung der Schornsteinluft, die sich in die Atmosphäre ergiefst, geändert. Während namentlich die Säuren in der Luft sich auflösen, und vielleicht ohne die tieferen Schichten wieder zu erreichen das Häusergebiet verlassen, kann bei geeigneter Luftgeschwindigkeit der Rufs mit seinem Anteil an Säuren in die tieferen Luftschichten kommen. Hierauf wurde zuerst von Angus Smith aufmerksam gemacht. Es liegt dann eine atmosphärische Trübung vor, der durch das Fehlen des einen Teiles der Säuren auch der offensivere Charakter für die Lungen fehlt; wird aber der Rauch in toto der Luft beigemengt, dann haben wir die höheren unangenehmen Grade der Luftverunreinigung. Solche Erfahrungen über den Rufsregen haben wir früher in dem alten Institut in der Klosterstrafse 36 zu machen Gelegenheit gehabt. Der mächtige Schornstein einer elektrischen Kraftstation entwickelte zeitweise enorme Rauchmassen, die bei

flottem Winde horizontal weitergeblasen wurden. Zog der Rauch aber über das Institut weg, so konnte mit dem Aitken-Apparat der Niederfall des Rufses deutlich quantitativ gemessen werden; die Rauchgase dagegen trug der Wind weiter über die Stadt weg.

Die Rufsmenge wird durch die Menge des Strafsenstaubes ganz erheblich in der trockenen Jahreszeit übertroffen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dafs die nähere Analyse der Luft verschiedener Städte wohl in der Lage wäre, den Grad der Rufsschwängerung zu erweisen, wenn regelmäfsige oder an Zahl ausreichende Untersuchungen vorlägen.

Berichtigung.

In Bd. LVII, Heft 3, in meiner Arbeit über die »Beziehungen zwischen Bakterienwachstum und Konzentration der Nahrung etc.« haben sich einige kleine Fehler eingeschlichen:

S. 185, Zeile 8 von oben lies »**nicht**« statt »sicher«.

S. 192, Zeile 7 von unten lies nach »wie« »**sonst**«.

S. 267 in Fig. 10 ist das Wort »Temperatur« zu streichen.

M. Rubner.

Über den Einflufs hohen Kohlensäuredrucks auf Bakterien im Wasser und in der Milch.

Von

Dr. W. Hoffmann,

Stabsarzt, früher kommandiert zu dem Institut.

(Aus dem Hygienischen Institut der Universität Berlin. Direktor: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. M. Rubner.)

A. Einleitung.

Anläfslich früherer Untersuchungen (1903) über eine neue Typhusnachweismethode mittels Koffein[1]), wobei ich nach einem weiteren Mittel suchte, zur Erleichterung der ätiologischen Typhusforschung Bacterium coli ohne Schädigung des Typhusbazillus im Wachstum zu hemmen, unterzog ich auf Anregung meines hochverehrten damaligen Chefs, des Herrn Geheimrats Rubner, auch die Einwirkung der flüssigen Kohlensäure auf Koli- und Typhusbazillen einer Prüfung.

Es war von früheren ähnlichen Untersuchungen verschiedener Autoren bekannt — auf die Literatur werde ich am Schlufs der Arbeit näher eingehen —, dafs die Wirkung sowohl erhöhter Drucke als auch der strömenden oder stationären Kohlensäure nicht auf alle Bakterien gleichmäfsig ist.

Es war deshalb wohl möglich — gerade bei Typhuswasseruntersuchungen mit Koffein, Nutrose und Kristallviolett — die in verunreinigtem Wasser nicht selten vorhandene Koligruppe, durch das Koffein an und für sich schon biologisch

1) S. Literatur am Schlusse.

geschwächt, und die übrigen Begleitbakterien durch den Einflufs hoher Kohlensäuredrucke zugunsten der Typhusbazillen noch weiter zurückzudrängen bzw. ganz auszuschalten.

Die derart mit Koli- und Typhusbazillen angestellten Versuche fielen negativ aus, besonders, da auch der Milcheiweifsstoff der Nutrose (Kaseinnatrium) zur Gerinnung gebracht wurde: — siehe Teil E — es zeigte sich aber, dafs die Wasserkeimzahl stark reduziert worden war, wenn gewöhnliches Spreewasser ohne irgendwelchen Zusatz der Wirkung der flüssigen Kohlensäure unter hohem Druck ausgesetzt wurde.

Es war deshalb von Interesse, diese Beobachtung weiter zu verfolgen.

B. Methodik.

Die ersten Versuche hatte ich in einer Berthelotschen Bombe angestellt, welche eine gasdicht verschliefsbare Zu- und Ableitungsöffnung hatte; da der Innenraum nur sehr klein war, so konnten nur geringe Flüssigkeitsmengen zur Untersuchung verwendet werden.

Es wurden deshalb von dem Institutsmechaniker Hoffmeister 2 Bomben aus Rotgufs angefertigt, deren Innenraum einen Durchmesser von $5^1/_2$ cm in der Breite und einen solchen von $11^1/_2$ cm in der Höhe hatten (siehe Fig. 1). Der Deckel wurde aufgeschraubt und war mit Bleidichtung versehen; er besafs eine gasdicht verschraubbare Zu- und Abteilungsöffnung, wie die Berthelotsche Bombe.

Bei der Füllung der Bombe mit Kohlensäure aus einem Kohlensäurezylinder wurde in die eine Öffnung ein Manometer für 75 Atm. eingeschraubt. Um die atmosphärische Luft möglichst vollständig aus dem Apparat zu vertreiben und eine reine CO_2-Atmosphäre herzustellen, wurde die eingelassene Kohlensäure 2 bis 4 mal bis auf ca. 2 Atmosphärendruck wieder ausgelassen, die Bombe also mit Kohlensäure »ausgewaschen«.

Um Sicherheit zu erhalten, dafs die Bombe auch völlig dicht schliefst, der Druck und hiermit die Kohlensäuremenge während des Versuchs konstant bleiben müssen, wurde sie in

Wasser versenkt und einige Zeit beobachtet, ob etwa aus dem aufgeschraubten Deckel oder der Zu- bzw. Ableitungsöffnung CO_2-Bläschen aufsteigen; in diesem Falle mufste nochmals die betreffende Schraube kräftig angezogen und die Kontrolle wiederholt werden.

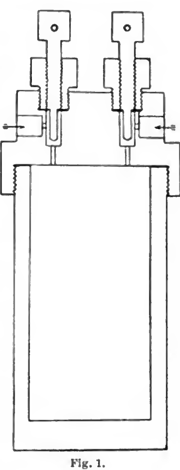


Fig. 1.

Mit diesen Apparaten wurde die gröfste Zahl der Versuche angestellt, weil sie sich verhältnismäfsig leicht bedienen liefsen und Undichtigkeiten verhältnismäfsig selten vorkamen.

Um mich jedoch zu überzeugen, dafs die mit kleinen Flüssigkeitsmengen gewonnenen Resultate auch im grofsen erzielt werden können, liefs ich einen Apparat konstruieren, der ca. 1 l Fassungsraum hatte.[1]) Hierbei mufste von der bisherigen Form Abstand genommen werden, da wegen des mit einem Schlüssel aufzuschraubenden gröfseren Deckels gröfsere Schwierigkeiten hätten überwunden werden müssen. Ich entschlofs mich deshalb, einen Autoklaven fertigen zu lassen, der auf 75 Atm. Druck geprüft, und dessen Deckel aufgeschliffen war; durch einen in einem beweglichen Bügel einzuschraubenden Stift konnte der Deckel von oben her gegen den unteren eigentlichen Hohlraum gasdicht angedrückt werden.

Da diese Dichtung sich jedoch häufig als unzuverlässig erwies, wurde zwischen Deckel und Hohlraum noch ein Bleiring eingelegt; trotzdem traten bei diesem gröfseren Apparat noch häufig genug Undichtigkeiten auf, wodurch mancher Versuch sich am Schlufs als unzuverlässig herausstellte, bis ich auch diesen Autoklaven bis zu dem senkrecht aufsteigenden, fest montierten Manometer in einen Wasserkübel eintauchte und mich sofort bei

*) Die zur Anschaffung dieser drei Apparate nötigen Mittel wurden mir durch die Gräfin Bose-Stiftung zur Verfügung gestellt.

Beginn des Versuchs von dem sicheren oder ungenügenden Abschluſs der Kohlensäure nach auſsen überzeugen konnte; manchmal handelte es sich nur um hie und da mit gröſseren Pausen heraustretende CO_2-Bläschen, wodurch der Stand des Manometers in sichtbarer Weise nicht verändert wurde. Die Bleidichtung muſste häufig erneuert werden.

Da dieser gröſsere Apparat auch gröſsere Luftmengen einschloſs, so lieſs ich meistens 4—6 mal die eingefüllte Kohlensäure bis auf wenige Atmosphären ab, da ich schon bei den ersten Versuchen, bei denen ich nur 2—3 mal auswusch, Resultate erhielt, die häufig von den früheren bei Benutzung der kleineren Bomben differierten.

In den Hohlraum dieser Apparate wurden möglichst passende sterile Gläser eingesetzt, die vorher mit der zu untersuchenden Flüssigkeit bis zu ungefähr $^3/_4$ ihrer Höhe angefüllt, und mit einem sterilen Wattepfropfen verschlossen waren. Wasser wurde vor dem Einfüllen stets durch ein doppeltes Papierfilter gefiltert.

Die mit hohem Kohlensäuredruck angestellten Versuche erstreckten sich in der Hauptsache auf Wasser, um festzustellen, in welcher Weise die Wasserbakterien und pathogenen Mikroorganismen, die gelegentlich in das Wasser gelangen können (Typhus-, Cholera-, Ruhrbazillen) unter Benutzung moderner Nachweismethoden beeinfluſst werden; ferner wurden mit Milch und Typhusimmunserum Versuche angestellt.

C. Einfluſs von hohem Kohlensäuredruck auf Fluſswasser.

Versuch I.

Frisches Spreewasser (1 ccm = 8262 Keime).

CO_2-Druck in Atmosphären	Temp.	Dauer des Versuchs	Keimzahl pro 1 ccm
5	37°	24 Std	8 262 (3. Tag Gelatineplatte) anfängl. Keimzahl 0 (3. » »)
0	37°	24 »	101 840 (3. » »)

Versuch II.

Spreewasser, 1 Tag im Zimmer gestanden (1 ccm = 20 450 Keime).

CO_2-Druck in Atmosphären	Temp.	Dauer des Versuchs	Keimzahl pro 1 ccm
10	37°	24 Std.	20 450 (3. Tag Gelatineplatte) anfängl. Keimzahl
			0 (5. » »)
0	37°	24 »	90 059 (3. » »)

Versuch III.

Spreewasser, frisch (1 ccm = 7318 Keime).

CO_2-Druck in Atmosphären	Temp.	Dauer des Versuchs	Keimzahl pro 1 ccm
20	37°	20 Std.*)	7 318 (3. Tag Gelatineplatte) anfängl. Keimzahl
			5 (nach 7 täg. Beobachtung Gelatineplatte)

Aus diesen drei Versuchen, die mehrmals wiederholt wurden, läſst sich nur der Schluſs ziehen, daſs ein Druck von 5, 10 und 20 Atm. Kohlensäure die im Spreewasser vorhandenen Bakterien derartig beeinfluſst, daſs Gelatineplatten, mit 1,0—2,0 ccm des Wassers gegossen, bei mehrtägiger Beobachtung keine bzw. nur ganz vereinzelte Kolonien auswachsen lassen.

Es muſs hier noch besonders erwähnt werden, daſs das Material zum Plattengieſsen aus dem Kohlensäurekolben erst entnommen wurde, nachdem durch andauerndes Schütteln die Kohlensäure zum gröſsten Teil beseitigt war.

Es ist nun selbstverständlich, daſs der obige Befund, so bemerkenswert er an und für sich erscheint, doch zunächst nur dafür spricht, daſs die Kohlensäure unter den erwähnten Umständen die Wasserbakterien biologisch derartig modifiziert hat, daſs sie, auf Gelatine gebracht, bei der angegebenen Beobachtungsdauer nicht oder nur ganz vereinzelt auszuwachsen vermögen, daſs also ihre Vermehrungsfähigkeit auf festem Nährboden verloren gegangen ist; die Frage der tatsächlichen Abtötung wird hierdurch noch nicht berührt.

Immerhin lag der Gedanke nahe, durch Versuche festzustellen, ob es nicht gelänge auf diesem Wege Fluſswasser keimfrei zu machen.

*) Nach Entfernung des CO_2 blieb das Kölbchen noch 3 Std. bei 22°.

Um diese event. Keimfreiheit nachweisen zu können, war es nötig, andere Methoden als die Gelatineplatte heranzuziehen, die einwandsfreie Resultate geben.

Es handelte sich also darum, das grofse Mengen Kohlensäure enthaltende Wasser zunächst möglichst von der CO_2 zu befreien, dann einerseits zunächst flüssige Nährböden zu verwenden, um nur geschwächten Keimen Gelegenheit zur Erholung und nachfolgender Vermehrungsfähigkeit — auch auf festen Nährböden — zu geben, und endlich das ganze Wasserquantum selbst durch Zugabe einer sterilen — Kontrolle! — 10proz. Pepton Kochsalzlösung in einen flüssigen Nährboden von 1% Peptongehalt umzuwandeln, um auf diesem empfohlenen Wege der Anreicherung nicht nur kleine Mengen des Versuchswassers, sondern das ganze Quantum auf lebensfähig gebliebene Keime durchsuchen zu können.

Es war also ebenso zu verfahren, wie nach den Empfehlungen von Schüder u. a. ein Desinfektions- bzw. Sterilisationsmittel geprüft werden mufs.

Die weiter angestellten Versuche sollten ferner die Frage beantworten, ob die Temperatur bei der Einwirkung des Kohlensäuredrucks eine wesentliche Rolle spielt und inwieweit das Ergebnis von der Zeitdauer abhängig ist.

Versuch IV.

Spreewasser (1,0 = 12346 Keime). 20 Atm. CO_2. 37°. 20 Stunden.

Nach Aufhebung des Druckes und Entfernung des CO_2-Peptonkochsalzzusatz 24stündiges Verweilen bei 22°, dann 1,0 zu je einer Gelatineplatte. Nach 2tägiger Beobachtung mehrere Kolonien (auch verflüssigende) sichtbar.

Versuch V.

Spreewasser (Keimzahl nicht bestimmt). 50 Atm. CO_2. 56° und Eisschrank (9°). 12 Stunden.

Zusatz von Peptonkochsalzlösung, 24stündiges Verweilen bei 22°; Aussaat von 1,0 auf Gelatine und Agar: alle vier Platten blieben steril.

Dieser Versuch wurde in derselben Weise noch zweimal ausgeführt, und zeigten die Platten bei der ersten Wiederholung geringes Wachstum, während die zweite Wiederholung mit dem Resultat von Versuch V übereinstimmte.

Versuch VI.

Spreewasser. 50 Atm. CO_2. 56° und Eisschrank. 6 Stunden.

Weitere Versuchsanordnung wie bei Versuch IV und V, jedoch zeigten auch bei den Wiederholungen beide Kölbchen stets reichliches Wachstum.

Versuch VII.

Spreewasser (1,0 = 48360 Keime). 46 Atm. CO_2. 37° und Eisschrank. 22 Stunden.

Die Kölbchen blieben nach Beendigung der CO_2-Wirkung und Schütteln noch 24 Stunden bei 22° stehen, um die letzten Spuren der Kohlensäure zu beseitigen, erhielten dann den erforderlichen Zusatz von Peptonkochsalzlösung und blieben abermals 24 Stunden bei 22°. Mit 1,0 gegossene Gelatine- und Agarplatten blieben bei 3tägiger Beobachtung steril.

Versuch VIII.

Die Versuchsanordnung war im Vergleich zu VII insofern abgeändert, als die Kölbchen nach möglichster Beseitigung der Kohlensäure sofort den Peptonkochsalzzusatz erhielten und statt 24 Stunden bei 22° 72 Stunden bei dieser Temperatur verweilten; das Resultat war dasselbe wie bei Versuch VII. Die Kontrollkölbchen zeigten sehr starkes Wachstum.

Aus Versuch IV ist im Vergleich zu Versuch III der Schlufs zu ziehen, dafs bei 20atmosphärischem CO_2-Druck und 20stündiger Einwirkungsdauer Wasserbakterien auf Gelatine noch zur Entwicklung kommen, wenn man nach Beseitigung der Kohlensäure das Versuchswasser durch Peptonlösungen in einen flüssigen Nährboden verwandelt; trotzdem ist aber die Zahl der dann auf Gelatine zum Auswachsen kommenden Bakterien immer noch bedeutend geringer als vor der Behandlung des Wassers mit Kohlensäure.

Erhöht man aber die Kohlensäuremenge auf ca. 50 Atmosphären und läfst sie 22 Stunden lang bei einer Temperatur zwischen ca. 10° und 37° einwirken, so konnten trotz nachfolgender Anreicherung keine Wasserbakterien auf festen Nährböden in der aus den Tabellen hervorgehenden Beobachtungszeit zum Wachstum gebracht werden.

Läfst man aber unter sonst gleichen Versuchsbedingungen die Kohlensäure weniger als 20 Stunden auf Flufswasser einwirken, so sind die Resultate nicht mehr konstant; unter 6 Stunden hatte ich immer negatives Ergebnis.

Einen besonders günstigen Einflufs höherer Temperaturen habe ich nicht feststellen können, so dafs ich zunächst die Versuche bei Zimmertemperatur wiederholte, wodurch die Resultate sich nicht änderten, und auch die folgenden, sofern nichts anderes angegeben wird, bei dieser Temperatur anstellte.

Um mich über den Einflufs der Einwirkungsdauer systematisch zu orientieren, stellte ich Versuch IX an und benutzte, um möglichst deutliche Unterschiede zu erhalten, eine Mischung von Spreewasser (Humboldhafen) mit stark fäkulentem Kanalwasser (Scharnhorststrafse) zu gleichen Teilen, ebenfalls durch 2 Papierfilter filtriert. Da die Entnahme der ersten Proben noch zu einer Zeit erfolgte, wo noch mit Bestimmtheit auf lebensfähige Bakterien zu rechnen war, so mufste naturgemäfs zunächst von einer Anreicherung abgesehen werden, wollte man ein Bild von dem quantitativen Rückgang der Wasserbakterien sich verschaffen. Nachdem der hohe Kohlensäuredruck aber 24 Stunden bestanden hatte wurden sogleich — d. h. nach möglichster Beseitigung der Kohlensäure — mit 1,0 ccm Gelatineplatten gegossen, ferner 1 ccm in Bouillonröhrchen übertragen, 24 Stunden bei 22° und der Rest der Wasserprobe mit Peptonkochsalzlösung 48 Stunden angereichert, ehe Gelatineplatten gegossen wurden.

Versuch IX.

50 Atm. CO_2. Zimmertemperatur.

Dauer der Einwirkung	Nachweismethode	Keimzahl
—	—	502 174 vor Beginn des Versuchs
1½ Std.	1,0 Gelatineplatte	920 3tägige Beobachtung
5 »	do.	13 do.
12 »	do.	3 do.
24 »	do.	0 do.
24 »	do.	0 + 2 Schimmel 3täg. Beobacht.
24 »	1,0 Bouillonröhrchen 24 Std. bei 22°. Getatinepl.	0 do.
24 »	Anreicherung für 48 Std. bei 22°; 1,0 Gelatineplatte	638 + 2 Schimmel do.

Aus dem Resultat nach der Anreicherung könnte man nun schliefsen, dafs einige besonders widerstandsfähige Bakterien durch die Kohlensäure unbeeinflufst geblieben wären, was bei einem derartigen Schmutzwasser weiter nicht auffallend wäre; dann müfste man im Vergleich mit dem Resultat nach Übertragung in Bouillonröhrchen hierin wieder einen Beweis erblicken für die schon erwähnte Notwendigkeit, das ganze Wasserquantum anzureichern und nicht nur Bruchteile (1,0) in Bouillon zu übertragen; es ist aber auch nicht unmöglich, dafs das Wachstum auf eine Verunreinigung zurückzuführen ist, da der Kolben — mit weitem Hals — schon vor Beginn der Anreicherung zweimal geöffnet worden war; immerhin bedeutet es eine starke Zurückdrängung der Bakterien für Kanalwasser.

Ich habe den Versuch in dieser Weise nicht wiederholt, dagegen aber unverdünntes Kanalwasser 24 Stunden unter hohem Kohlensäuredruck gelassen; es wuchsen nach folgender Anreicherung stets eine mehr oder weniger grofse Anzahl Bakterien; die unmittelbar nach Aufhebung des CO_2-Druckes gegossenen Gelatineplatten liefsen aber stets eine bedeutende Keimverringerung erkennen (2040010 auf 0 nach 24stündiger auf 330 nach 72stündiger Beobachtungsdauer). Trotz der Filtration wurde nach Beendigung des Versuches stets ein Bodensatz beobachtet; der faulige Geruch war meist völlig geschwunden und eine deutliche Klärung des Wassers eingetreten.

D. Einflufs von hohem CO_2-Druck auf pathogene, im Wasser suspendierte Mikroorganismen.

Von den zahlreichen hierüber angestellten Versuchen seien nur die wichtigsten hier angeführt mit dem Bemerken, dafs alle diejenigen Versuche negativ verliefen, welche auf eine Beeinflussung der in Bouillon suspendierten Mikroorganismen hinzielten. Auch selbst wenn eine Bouillonkultur in steriles Leitungswasser filtriert wurde, war meist nur eine geringe Keimzurückdrängung nachweisbar.

Es hat hiernach den Anschein, als ob bei derartigen Versuchen Nährstoffe im Wasser für die Kohlensäure-

wirkung auf Bakterien von der gröfsten Bedeutung sind; wenn auch hier ähnliche Verhältnisse vorliegen, wie für das Ozon, dessen — allgemein anerkannte — Wirkung durch einen hohen Gehalt des Wassers an organischer Substanz, welche durch Ozon oxydiert wird, in Frage gestellt werden kann, so ist natürlich der wahre Grund in anderen chemischen Bedingungen zu suchen. Hierin liegt aber auch der Grund, weshalb die Ergebnisse bei den Versuchen mit Kanalwasser von denen verschieden sind, die bei den Experimenten mit dem an organischen und anorganischen Nährstoffen ärmeren Flufswasser erzielt wurden.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde von einer 24stündigen Agarkultur eine Aufschwemmung in sterilem Leitungswasser gemacht und dieselbe durch einen doppelten Papierfilter unmittelbar in den Kolben mit sterilem Leitungswasser filtriert.

Die Untersuchungen erstreckten sich in erster Linie auf Typhusbazillen.

Läfst man ca. 50atmosphärige Kohlensäure 6 Stunden lang auf eine wässerige Aufschwemmung, wie oben auseinandergesetzt, einwirken, und bleibt nach möglichster Entfernung der Kohlensäure das Kölbchen noch 24 Stunden bei 37° stehen, so bleiben mit 1,0 ccm gegossene Gelatine- und Agarplatten steril, ebenso wie von Drigalski-Conradiplatten, welche mit 10 Ösen beschickt worden waren; auch nach 48stündigem Verweilen der Aufschwemmungsflüssigkeit bei 37° war das Resultat dasselbe.

Es war jedoch noch notwendig, das Versuchswasser nach Beseitigung der Kohlensäure in eine Nährlösung zu verwandeln; auch in diesem Fall (48 Stunden bei 37°) konnten Typhusbazillen mit den Lackmusnutroseplatten nicht nachgewiesen werden.

Ich ging nun mit der Einwirkungsdauer der Kohlensäure herunter und konnte in einigen Versuchen schon nach 2stündiger Kohlensäurewirkung unter den oben angegebenen Nachweisbedingungen ein Wachstum von Typhusbazillen nicht feststellen.

Um nachzuweisen, ob die Dinge bei Einsaat der Typhusbazillen in nicht sterilisiertes Spreewasser (5870 Spreewasserkeime

und 71088 Typhusbazillen pro 1 ccm) ebenso liegen, liefs ich die Kohlensäure — 49 Atm. — bei Zimmertemperatur 3 Stunden einwirken, setzte nach tüchtigem Schütteln[1]) die entsprechenden Mengen Koffein, Nutrose und Kristallviolett zu und liefs diese Anreicherungsflüssigkeit 16 Stunden bei 37°. Es folgte biologische Fällung mit Typhusserum — 3stündige Einwirkung — und Ausstrich auf Drigalski-Conradiagar mit dem Resultat, dafs keine Typhusbazillen aufzufinden waren, dagegen zeigten die Platten vereinzelt andere Kolonien (Kokken), und die Keimzahl des Versuchswassers betrug 237 in 1,0 ccm.

Dies ist nicht weiter auffallend, da wir im Teil C. gesehen haben, dafs bei 3stündiger Kohlensäurewirkung ein Teil der Wasserbakterien noch entwicklungsfähig ist.

Ebensowenig wie Typhus, konnten unter gleichen Versuchsbedingungen (6—2stündige Einwirkungsdauer) Choleravibrionen (Stamm 74, erhalten aus dem Institut für Infektionskrankheiten) noch entwicklungsfähig nachgewiesen werden. Hierbei wurde aber statt der Koffeinanreicherung die offizielle Peptonkochsalzlösung zur Anreicherung verwandt. Die Platten — bei Versuchen mit Reinkultur — blieben steril, und bei dem Versuch mit Einsaat der Choleravibrionen in Spreewasser konnten nach Anreicherung auf den Agarplatten mit der Agglutination keine Cholerakeime nachgewiesen werden; die Versuchskölbchen gaben trotz mehrtägigen Verweilens bei 37° keine Nitrosonidolreaktion.

Dieselben Versuche wurden noch mit B. coli und Ruhrbazillen in Reinkultur angestellt mit demselben Resultat, jedoch mit der Einschränkung, dafs erst bei 3stündiger Einwirkung die Entwicklungsfähigkeit aufgehoben war.

Durch weitere Versuche wird noch festzustellen sein, wie sich Milzbrandbazillen und Sporen[2]) (mit Heranziehung von

1) Mit 1,0 ccm gegossene Gelatineplatten zeigten nach 3tägiger Beobachtung 3 bzw. 8 Kolonien.

2) Aus dem häufigen Auftreten von Schimmelbildung bei den Wasser platten zu schliefsen, scheinen Sporen wenig oder gar nicht durch die CO_2 beeinflufst zu werden.

Tierversuchen) Tuberkelbazillen, Eitererreger, Anchylostomum duodenale, worauf ich meine Versuche nicht mehr ausdehnen konnte, hohem CO_2-Druck gegenüber verhalten.

E. Einflufs von hohem Kohlensäuredruck auf Milch.

Die Untersuchung der Wirkung hohen CO_2-Drucks auf Milch beschäftigten mich längere Zeit und fanden diese Untersuchungen im Anschlufs an die ersten günstigen Ergebnisse bei den Wasseruntersuchungen statt, zu denen ich erst wieder zurückkehrte, nachdem ich die Milchuntersuchungen mit wenig befriedigenden Resultaten abgeschlossen hatte.

Die Untersuchungen erstreckten sich sowohl auf Rohmilch mit sehr hoher Keimzahl, als auch auf Milch, welche einwandsfrei, unter strengen hygienischen Vorsichtsmafsregeln gewonnen war (Meierei Bolle, Berlin), nach der Entnahme in sterilen Gefäfsen in Eis verpackt, in das Institut transportiert und dort alsbald verarbeitet wurde. (Keimzahl durchschnittlich 44.)

Die Keimzahl der Milch wurde bei einer 20 stündigen Beeinflussung durch ca. 50 atmosphärige Kohlensäure bei 37° deutlich nachweisbar reduziert (z. B. von 1 012 930 auf 7 276 nach 48 Stunden, auf 13 744 (mehrere Oidium lactis) nach 72 stündiger Beobachtung), es trat aber nie der Fall ein, dafs auf einer mit derartig vorbehandelter Milch gegossenen Gelatineplatte keine Kolonie zur Entwicklung kam; stets war, allerdings erst am 2. Tag, Wachstum zu konstatieren.

Ferner hatte eine fraktionierte Bedruckung ebenso wenig Erfolg wie die Anwendung sehr hoher hydraulischer Drucke, welche ich in der physikalischen Reichsanstalt Charlottenburg mit liebenswürdiger Genehmigung der Direktion ausführte; auch Versuche mit Sauerstoff unter 20 Atmosphären Druck hatten nicht das gewünschte Ergebnis, die Milch keimfrei zu machen.

Es trat auch kein befriedigendes Resultat ein, wenn ich die Milch vorher auf 50° 20 Minuten lang erwärmte; zwar war der Rückgang der Keimzahl noch deutlicher, ein beab-

sichtigtes Konservieren scheiterte aber an der allmählich eintretenden Gerinnung.

Es gelang jedoch, durch die Zurückdrängung der Milchbakterien die Milch länger vor dem Gerinnen zu bewahren, als die Kontrollprobe ohne Kohlensäuredruck unter sonst gleichen Verhältnissen; schliefslich trat aber doch nach einigen Tagen Gerinnung ein. Vorgenommene Titrierungen des Säuregrades der Milch ergaben ein ständiges langsames Fortschreiten der Säuerung.

Das Milcheiweifs bleibt, eben durch die länger andauernde Wirkung der Kohlensäure nicht unverändert, wird doch auch zur künstlichen Ausfällung des Kaseins die Kohlensäure nach Hoppe-Seyler in der Weise verwandt, dafs man durch vorher auf 40° erwärmte Milch — oder mit etwas Essigsäure angesäuert — einen Kohlensäurestrom durchleitet.

Dafs also die schliefsliche Gerinnung der Milch nicht nur auf die Wirkung der Milchsäurebakterien zurückzuführen ist, erhellt auch aus einem Versuch, den ich mit steriler Milch anstellte, welche nach 48stündiger Bedruckung durch 20 Atmosphären Kohlensäure komplett geronnen war.

Liefs ich 50 Atmosphäre Kohlensäure bei 56° 24 Stunden lang auf Rohmilch einwirken und war bei dem Transportieren aus dem Brutschrank, dem Herauslassen der Kohlensäure und dem Öffnen der Bombe recht vorsichtig, so dafs keine Erschütterungen eintraten, so hatte sich in sehr schöner Weise das hellgrünliche Milchserum von dem am Boden zusammengeballt liegenden Kasein getrennt; liefs man längere Zeit vorsichtig die Kohlensäure aus dem Kölbchen entweichen, so konnte man das völlig klare Serum aufpipettieren; es liefse sich also auf diese Weise die CO_2 benutzen, um das Kasein von dem Milchserum zu trennen.

Da hiernach feststand, dafs höherer CO_2-Druck bei erhöhter Temperatur die Milch sehr bald zum Gerinnen bringt, so versuchte ich durch geringeren CO_2-Druck bei niedriger Temperatur die Milch für einige Zeit haltbar zu machen, da ich beobachtet hatte, dafs die Milchbakterien in ihrer Entwicklung durch den

Kohlensäuredruck zum mindesten gehemmt werden, so dafs eine bakterielle Säuerung kaum nennenswert in Frage kommen kann.

Ich liefs — der Versuch wurde öfters wiederholt — bei Zimmertemperatur (Sommer) im Schatten eine unter hygienischen Vorsichtsmafsregeln gewonnene Milch in einem sterilen Kölbchen und dieselbe Menge in einem anderen sterilen Kölbchen unter 10 atmosphäriger Kohlensäure stehen und entnahm nach 24, 48 und 72 Stunden Proben. Das erste Kölbchen war nach 24 Stunden geronnen und roch stark säuerlich, während die CO_2-Milch einen sehr angenehmen Geruch hatte und eine entnommene Probe beim Kochen nicht gerann; auch nach 72 Stunden war die CO_2-Milch noch in demselben Zustand, während nach 96 Stunden beim Kochen Gerinnung eintrat; immerhin war die Milch noch nach 3 Tagen gebrauchsfähig, während die ursprüngliche Milch schon nach 24 Stunden nur noch als sauere Milch Verwendung finden konnte.

Ich bin vorläufig weit davon entfernt, hieraus praktische Schlüsse zu ziehen, jedoch ist die Beobachtung vielleicht eine Grundlage, auf der man weiter entsprechende Versuche anstellen könnte, zumal da die Frage einer Milchsteriliesierung ohne Erhitzen heutzutage noch nicht befriedigend gelöst ist.

Nebenher prüfte ich die Wirkung hohen Kohlensäuredrucks auf ein Typhusimmunuserum in einer Verdünnung von 1 : 200, welches bei einem Grenztitre von 1 : 6000 in einer Verdünnung von 1 : 4000 fast momentan einwandsfrei agglutinierte, (48 Stunden, Eisschrank 8° — 20 Atmosphäre CO_2). Die Wirkung des Typhusserums hatte sich nach Beendigung des Versuchs nicht geändert, die Agglutinine hatten nicht gelitten. Hiernach wäre der Kohlensäuredruck zur Konservierung von Serumverdünnungen vielleicht empfehlenswert, wenn sich die Unschäd lichkeit auch bei längerer Bedruckung herausstellen sollte, was durch weitere Versuche noch bestätigt werden müfste. Gleichzeitig würde die Beseitigung bakterieller Verunreinigungen in Serumverdünnungen erreicht werden.

F. Literaturübersicht und Physikalisches über die Wirkung der Kohlensäure.

Werfen wir einen Blick auf die vorhandene Literatur, so haben wir von vornherein zu unterscheiden zwischen Arbeiten, die den Einflufs der Kohlensäure auf Bakterien prüften und solchen, die nur den Einflufs hoher Drucke auf dieselben feststellen wollten.

d'Arsonval[2]) liefs 45 atmosphärige Kohlensäure eine Flüssigkeit durch ein Porzellanfilter pressen und fand, dafs man durch geeignete Einwirkung des Druckes der Kohlensäure die Organismenentwicklung in Flüssigkeiten abschwächen, verlangsamen oder verhindern könne.

Sabrazès und Bazin[3]) konnten jedoch die Angaben d'Arsonvals nicht bestätigen, sie prüften Bouillon-Kulturen (!) von Staphylokokken, Typhus »Coli« und Milzbrandbazillen, ohne eine Änderung in ihrer Entwicklungsfähigkeit nachweisen zu können. Weiter setzten d'Arsonval und Charrin[4]) Kulturen von Pyocyaneus einem Druck von 50 Atmosphären CO_2 2, 4, 6 und 24 Stunden aus. Nach 2 Stunden konnten sie feststellen, dafs die Vermehrungsintensität, nicht aber die Farbstoffbildung geschädigt war; nach 4 Stunden wurde fast kein Farbstoff mehr gebildet, nach 6 Stunden wurde nur selten Wachstum beobachtet, nach 24 Stunden war »alles tot«. Milzbrand wollen die Autoren schon nach 12 Stunden vernichtet haben.

Ingria[5]) kam zu dem Resultat, dafs vielfältige bakteriologische Untersuchungen die bakterienschädigende Wirkung der Kohlensäure dargetan hätten.

Frankland[6]) legte mit Bakterien beschickte Gelatineplatten, auf Bänkchen übereinandergestellt, in einem Glasgefäfs aus, in das er verschiedene Gase — strömend — einleiten konnte. Er fand, dafs Cholera, Finkler Prior, Pyocyaneus u. a. durch Wasserstoff sehr wenig, dagegen durch Kohlensäure völlig im Wachstum gehemmt werden, jedoch bei späterer Luftzufuhr einen »sehr geringen Nachwuchs« aufweisen.

C. Fränkel[7]) benutzte ebenfalls Bakterien, in Gelatine geimpft und zu einem Rollröhrchen ausgerollt, um die Wirkung

der Kohlensäure, wie sie im Kippschen Apparat (Marmor und HCl) entsteht, zu prüfen; er liefs durch einen durchbohrten Gummistöpsel die Kohlensäure ein- und austreten, sie aber auch durch Verlegung des Zu- und Ableitungsweges stationär — auch auf Bouillonröhrchen — wirken. Er erhielt auf diesem Wege wenig befriedigende Resultate, jedoch bestätigte er die Angaben von Leone[8]) und Hochstetter[9]), dafs im andauernden Kohlensäurestrom Wasserbakterien »absterben« können. Leone war wohl der erste, der fand, dafs die Zahl der Mikroorganismen in einem Trinkwasser, durch welches ein Kohlensäurestrom geführt wurde, sich rasch verringerten und nach 14 Tagen »nur noch 2 Keime« vorhanden waren. Hochstetter konnte ein rasches Absterben vieler künstlich in Selterswasser gebrachter Mikroorganismen, besonders von Choleravibrionen, beobachten. Sterilisiertes Leitungswasser mit 1,0 ccm Cholerabouillonkultur in einem ununterbrochenen CO_2-Strom zeigte bei der Untersuchung schon nach 4 Stunden beträchtliche Verminderung der Keime, die dann nach weiteren 24 oder 48 Stunden im CO_2-Strom abgestorben waren.

Draër[10]) konstatierte, dafs Selterswasser nach Entziehung der Kohlensäure zwar ein günstiger Nährboden für Bakterien sei, dafs aber die Keime bei längerer Einwirkung der Kohlensäure wenigstens teilweise vernichtet werden können, Choleravibrionen seien jedoch nach 24 Stunden, nicht aber nach 48 Stunden noch am Leben.

Noch eine gröfsere Anzahl von Autoren haben sich mit dem Bakterienwachstum in Selterswasser und natürlichen kohlensäurehaltigen Wässern befafst, wie Morgenroth.[12]) v. Rizler[13]) und neuerdings Heim[13]) und steht es als sicher fest, dafs unter Umständen sehr hohe Keimzahlen konstatiert werden können. Es erübrigt sich, diese Frage hier weiter zu erörtern.

Buchner[11]) resümiert, dafs Choleraerreger im CO_2-Strome selbst in guter Nährlösung absolut keine Vermehrung zeigen.

Nach Melseus[15]) wird Hefe in einer Flüssigkeit, die bei 25 Atmosphären mit Kohlensäure gesättigt ist, getötet, und Müller-Thurgau[16]) teilt mit, dafs die Neubildung von Hefe in den vergorenen Weinen und Wachstum der Weinkrankheiten

verursachenden Organismen durch die Kohlensäure verhindert wird, ja es können sogar Hefezellen durch die Kohlensäure allmählich getötet werden.

Das sind wohl kurz die wichtigsten Arbeiten, welche die Einwirkung der Kohlensäure auf Bakterien zum Gegenstand ihrer Untersuchungen hatten; meist wurde Kohlensäure unter geringem Druck in kontinuierlichem Strome durchgeleitet, oder es waren im Gegensatz zu meinen Versuchen entweder feste oder flüssige Nährböden verwendet worden oder, wie von Hochstetter, Bouillonkulturen in steriles Wasser gegossen worden: Alle aber haben in mehr oder weniger ausgesprochener Weise festgestellt, dafs die Kohlensäure unter gewissen Bedingungen die Bakterien zum mindesten in ihrer Entwicklung hemmt, einige — Leone, Hochstetter, Fränkel — haben sogar ein Absterben beobachtet.

Nach den Mitteilungen von Schüder wissen wir aber, dafs man zur Beantwortung der Frage, ob Bakterien in einer Flüssigkeit tatsächlich abgestorben sind, nach besonderen Grundsätzen verfahren mufs, indem man das ganze Flüssigkeitsquantum nach Beendigung der schädlichen Einwirkung durch nachträglichen Zusatz einer 10proz. Peptonkochsalzlösung in eine Anreicherungsflüssigkeit umwandelt, die man 24 Stunden nunmehr einer für die betreffende Bakterienart optimalen Temperatur aussetzt; hierdurch erhalten die etwa nur vorübergehend geschädigten Bakterien, die unmittelbar auf feste Nährböden gebracht, keine Vermehrung zeigen, Gelegenheit, sich derartig zu regenerieren, dafs später ein sichtbares Auswachsen zu Kolonien eintreten kann.

Wir müssen uns nun in den in der Literaturübersicht angeführten Beobachtungen, wo wir von »Abgestorbensein« u. dgl. lesen, vergegenwärtigen, dafs eine solche subtile Nachweismethode tatsächlicher Keimtötung nicht zur Anwendung gekommen war.

Ja man kann sich sogar vorstellen, dafs ein 24 bzw. 72 stündiges Verweilen in der »Anreicherungsflüssigkeit« für derartig stark geschädigte Bakterien noch nicht ausreichend ist, um ihnen die wichtigste biologische Eigenschaft, die Vermehrung, wieder zu geben, so dafs eine noch längere Beobachtung und Prüfung erforderlich wäre, als sie in meinen Versuchen stattgefunden hat.

Von ausschlaggebender Wichtigkeit ist diese Frage ja hauptsächlich bei den pathogenen Bakterien, Typhus, Cholera, Ruhr, die gelegentlich im Wasser vorkommen, da wir eigentlich ja nie bakterienfreies Wasser trinken. Bei diesen Spezies kann man in diesem Sinne nicht rigoros genug sein, zumal wir noch keinerlei Kenntnis davon haben, ob solch stark geschädigte Typhus-, Cholera-, Ruhrbazillen im menschlichen Organismus nicht sehr bald wieder sich bis zu ihrer früheren Fortpflanzungsfähigkeit regenerieren können, und da es ferner bisher selbst mit volllebensfähigen Individuen im Tierversuch nur bei der Ruhr (Kazarinow) gelungen ist, unter besonderen schwierigen Bedingungen ein typisches Krankheitsbild zu erzeugen und hierdurch obige Fragen in befriedigender Weise zu lösen.

Auſser der Kohlensäure könnte noch die Druckerhöhung an sich als bakterienschädigendes Agens in Betracht kommen.

Versuche, die ich 1903 in der physikalischen Reichsanstalt mit sehr hohen hydraulischen Drucken auf Milch und Spreewasser angestellt habe, ergaben jedoch völlig negative Resultate, wie auch Chlopin und Tamann[17]) in ihrer ausführlichen Arbeit mit noch höheren, als den von mir angewendeten Drucken bewiesen, daſs die Bakterien hierdurch wohl in ihren biologischen Funktionen vorübergehend geschädigt werden können, sich aber bald aus ihrem »lethargischen« Zustand wieder erholen.

Was nun die physikalische Absorption der Kohlensäure im Wasser unter hohem Druck anbelangt, so werden sicher groſse Mengen darin absorbiert, und es ist anzunehmen, daſs in all denjenigen Versuchen, wo die Kohlensäure unter einem Druck von 50 Atmosphären stand, auch in der Versuchsbombe flüssige Kohlensäure vorhanden gewesen sein muſs, die wegen ihrer Schwere am Boden des Kolbens sich befand.

Nach Landolt und Börnstein 1894 beträgt der Absorptionskoeffizient von Kohlensäure im Wasser bei der Temperatur von:

0° — 1,7967	10° — 1,1847
1° — 1,7207	12° — 1,1018

2°	1,6481	15° — 1,0020
3°	1,5787	18° — 0,9318
4°	1,5126	23° — 0,7980
8°	1,2809	37° — 0,5690,

woraus sich ergibt, dafs um so mehr Kohlensäure absorbiert werden kann, je niedriger die Temperatur ist.

Die Menge der absorbierten Kohlensäure ist ferner direkt proportional dem Druck, so dafs man sich aus dem Druck und dem Absorptionskoeffizienten die Menge der absorbierten Kohlensäure berechnen kann. Die vorliegenden Versuche, die durchaus nicht als abgeschlossen gelten können, gestatten nach verschiedenen Seiten hin noch weitere Ausführung und Durchführung, woran ich aus äufseren Gründen verhindert war.

G. Beurteilung etwaiger praktischer Verwertbarkeit des hohen Kohlensäuredrucks zur Herstellung genufsfähigen Trinkwassers.

Die mit Typhus-, Cholera- und Ruhrbazillen angestellten Versuche hatten ergeben, dafs es nach dreistündiger Einwirkung eines Kohlensäuredrucks von ca. 50 Atmosphären nicht mehr möglich ist, in einem vorher durch Schnellfiltration (bei praktischer Verwendung wäre ein Kröhnke-Filter empfehlenswert) gereinigten Wasser diese pathogenen Keime als lebensfähig nachzuweisen; die Keimzahl des Wassers war aber derartig reduziert, dafs es den heutzutage vom bakteriologischen Standpunkte aus gestellten Anforderungen an ein gebrauchsfähiges Trinkwasser entsprach. Gleichzeitig hatte das Wasser durch den Gehalt an freier Kohlensäure einen erfrischenden Geschmack erhalten. Es lag also der Gedanke nahe, durch Versuche im grofsen die geschilderte Methode zur Herstellung hygienisch einwandfreien Trinkwassers auszubilden.

Die Schwierigkeiten betreffs der Dichtigkeit gegenüber 50 Atmosphären war naturgemäfs bei gröfseren Apparaten, die 1 cbm oder noch mehr fassen sollten, eine sehr grofse, und aufserdem stehen dem Bau noch gröfserer Apparate, welche für

50 Atmosphären Druck aus Sicherheitsgründen auf 75—100 Atmosphären geprüft sein müssen, unüberwindliche Schwierigkeiten rein technischer Art entgegen.

Was nun ferner die Verwendung der flüssigen Kohlensäure anbelangt, so war von vornherein anzunehmen, dafs der Bedarf ein aufserordentlich hoher sein müfste; zwar ist es möglich, einen gewissen Teil der Kohlensäure nach ihrer 3stündigen Einwirkung wieder aufzufangen, zu sammeln und dann wieder zu flüssiger Kohlensäure zu komprimieren, was wiederum besondere kostspielige Apparate erfordert hätte, immerhin wären beträchtliche Mengen flüssiger Kohlensäure notwendig gewesen. Man hatte ferner daran zu denken, dafs die im Wasser absorbierte Kohlensäure, ehe das Wasser zu allgemeiner Benutzung freigegeben werden konnte, zum allergröfsten Teil daraus wieder entfernt werden mufste — auch schon wegen der bleilösenden Wirkung kohlensäurehaltigen Wassers —; nach Aufhebung des Druckes bleibt aber immer noch eine nicht unbeträchtliche Menge Kohlensäure im Wasser, die erst nach längerem Schütteln oder Stehen ganz zu entfernen ist

Diesbezügliche Unterhandlungen, die mit den Firmen für Wasserversorgungsanlagen Gebr. Körting (Körtingsdorf bei Hannover), David Grove-Berlin und der Selterswasserfabriken Struve & Soltmann-Berlin geführt wurden, hatten denn auch das Resultat, dafs die Betriebskosten mit besonderer Berücksichtigung der umfangreichen Apparate und der Betriebsstörungen, welche durch Undichtigkeiten bei einem 50 atmosphärigen Druck nicht ausbleiben können, derartig hohe sein würden, dafs eine Konkurrenz mit den vorhandenen Wasserversorgungsanlagen sich von selbst ausschliefst. Es ist meinen weiteren Untersuchungen vorbehalten, ob nicht durch geringeren CO_2-Druck in Verbindung mit anderen chemischen Desinfektionsmitteln, Silberfluorid (Tachiol), Wasserstoffsuperoxyd usw. ebenso günstige Resultate zu erzielen sind, wobei wegen des bedeutend geringeren CO_2-Druckes an die Apparate auch bedeutend geringere Anforderungen gestellt werden können.

Schlufssätze.

1. Durch stationäre Einwirkung von hohem Kohlensäuredruck können Wasserbakterien stark in ihrer Entwicklung gehemmt werden.
2. Die 24stündige stationäre Einwirkung 50atmosphäriger Kohlensäure bei niederer Temperatur auf filtriertes Flufswasser ist eine solche, dafs trotz 24stündiger Anreicherung mit Peptonkochsalzlösung Bakterien auf festen Nährböden bei mehrtägiger Beobachtung nicht zum Auswachsen kommen.
3. Filtrierte wässerige Aufschwemmungen von Typhus-, Cholera-, Ruhrbazillen zeigen nach 3stündiger Einwirkung 50atmosphäriger Kohlensäure und nachfolgender 48stündiger Anreicherung bei 37° keine Entwicklung auf optimalen Nährböden.
4. 50atmosphärige Kohlensäure läfst bei 56° in 24 Stunden in Milch das Kasein ausfallen und das Serum sich abscheiden.
5. Es gelingt nicht, die Milchbakterien durch hohen Kohlensäuredruck so zu beeinflussen, dafs sie auf festen Nährböden nicht mehr wachsen; es tritt jedoch zum mindesten keine Vermehrung der Milchkeime ein.
6. Frische, unter hygienischen Vorsichtsmafsregeln gewonnene Milch kommt unter hohem Kohlensäuredruck 24 bis 48 Stunden später zur Gerinnung, als dieselbe Milch ohne CO_2-Druck unter sonst gleichen Bedingungen.
7. Agglutinine werden durch 48stündige Einwirkung mittlerer Kohlensäuredrucke in verdünnten Serumlösungen nicht geschädigt, vorhandene bakterielle Verunreinigungen zurückgedrängt bzw. beseitigt.

Literatur.

1a. Hoffmann-Ficker, Über neue Methoden zum Nachweis von Typhusbazillen. Hyg. Rundschau, 1904.

1b. Ficker-Hoffmann, Weiteres zum Nachweis von Typhusbazillen. Arch. f. Hyg., 1904.

2. d'Arsonval, Emploi de l'acide carbonique liquéfié pour la filtration et la stérilisation rapides des liquides organiques. Compt. rend., t. XII. Ref. Kochs Jahresbericht, 1891.

3. Sabrazès und Bazin. L'acide carbonique à haute pression peut-il-être considerée comme un antiseptique puissant. Compt. rend., 1893. Ref. Kochs Jahresbericht, 1893.

4. d'Arsonval und Charrin, »Pression et microbes«. Compt. rend. 1893. Ref. Kochs Jahresbericht, 1893.

5. Ingria, Studio batteriologico sull' acqua di Seltz. Morgagni no. 9. Ref. Baumgarten, 1895.

6. Frankland, »Über den Einflufs der Kohlensäure und anderer Gase auf die Entwicklungsfähigkeit der Mikroorganismen«. Zeitschr. f. Hygiene, Bd. VI.

7. C. Fränkel, »Die Einwirkung der Kohlensäure auf die Lebenstätigkeit der Bakterien«. Zeitschr. f. Hyg., Bd. V.

8. Leone, »Untersuchungen über die Mikroorganismen des Trinkwassers und ihr Verhalten in kohlensauren Wässern«. Arch. f. Hyg, Bd. IV.

9. Hochstetter, »Über Mikroorganismen im künstlichen Selterswasser«. Arb. a. d. kais. Gesundheitsamt, Bd. II.

10. Draër, Zentralbl. f. allgemeine Gesundheitspflege, Jahrg. 14.

11. Buchner, Arch. f. Hyg., Bd. 1885.

12. Morgenroth, Hyg. Rundschau, 1899.

13. v. Rizler, Hyg. Rundschau, 1902.

14. Heim, Hyg. Rundschau, 1905.

15. Melseus, Compt. rend. t. LXX.

16. Müller-Thurgau, Kochs Jahresbericht, 1891.

17. Chlopin und Tamann, Zeitschr. f. Hyg., Bd. 45.

Der Energieaufwand der Verdauungsarbeit.

Von

Otto Cohnheim.

(Heidelberg.)

(Aus dem Hygienischen Institut der Universität Berlin. Direktor: Geh. Medizinalrat Prof. Dr. M. Rubner.)

Im vorigen Jahre habe ich Versuche mitgeteilt[1]), nach denen die Arbeit der Verdauungsdrüsen keine Mehrausscheidung von Stickstoff bewirkt. Ich hatte den Schlufs daraus gezogen, dafs die Drüsen sich nicht anders verhalten, als die Muskeln, dafs auch ihre Arbeit nicht auf Kosten von Eiweifs zu geschehen braucht, sondern durch Verbrennung von Fett oder von Glykogen bestritten werden kann. Dieser Schlufs aber war nicht allzu sicher. Ich hatte die Verdauungsdrüsen dadurch in Tätigkeit versetzt, dafs ich einen nach Pawlow ösophagotomierten Hund scheinfütterte. Dabei geraten die Speicheldrüsen, die Drüsen und Muskeln des Magens, das Pankreas, mindestens der obere Teil des Darms, und vielleicht auch die Leber in Tätigkeit. Dafs diese Tätigkeit Material erfordert, ist von vornherein selbstverständlich, und die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureproduktion bei der Tätigkeit ist für die Speicheldrüsen und das Pankreas von Barcroft[2]) und Barcroft u. Starling[3]) auch kürzlich gemessen worden. Ob die bei der

1) O. Cohnheim, Zeitschr. f. physiolog. Chemie, 46, 9, 1905.

2) J. Barcroft, Journ. of Physiology, 25, 265 (1900); 27, 31 (1901).

3) J. Barcroft u. E. H. Starling, Ebenda, 31, 491 (1904).

Scheinfütterung geleistete Arbeit gegenüber der Gesamtproduktion des Organismus aber merklich ins Gewicht fiel, das stand doch nicht fest. Die Möglichkeit lag zweifellos vor, dafs das Gleichbleiben der Stickstoffausscheidung bei Hunger und bei Scheinfütterung einfach darauf beruhte, dafs die Umsetzungen bei der Scheinfütterung zu klein waren, um mefsbar zu sein, und so klein, dafs sie leicht kompensiert werden konnten. Wollte man wirklich etwas über den Umsatz bei der Scheinfütterung erfahren, so war es erforderlich, nicht nur den Stickstoff, sondern die gesamten Ausscheidungen des Körpers zu kontrollieren.

Ich geriet damit an ein altes Problem der Physiologie, den Stoffverbrauch bzw. den Energieaufwand der Verdauungsarbeit zu bestimmen.

Speck[1]), v. Mering und Zuntz[2]) und Magnus-Levy[3]) haben ihn dadurch zu bestimmen gesucht, dafs sie den Gaswechsel in kurzen Perioden im Zustande des Hungers und kurz nach der Nahrungsaufnahme bestimmten. Es ergab sich ein Mehr von 5—20% und darüber. Anderseits konnten Voit[4]) und Rubner[5])[6]), auf den Tagesbedarf berechnet, keine konstante die Fehlergrenzen überschreitende Steigerung beobachten. Wie Rubner wiederholt betont, ist es selbstverständlich, dafs die Arbeit der Verdauungsdrüsen einen Aufwand erfordert, nur sind wir nicht in der Lage zu sagen, wie grofs er ist.

Es mufs vielmehr als durchaus möglich bezeichnet werden, dafs er gegenüber dem sonstigen Energieaufwand des Körpers minimal ist. Die Hauptschwierigkeit der Bestimmung liegt darin, dafs die Nahrungszufuhr aufser der Verdauungsarbeit noch andere Veränderungen im Organismus bewirkt. Einen vermehrten Umsatz im Körper nach der Nahrungszufuhr haben nicht nur Speck, v. Mering und Zuntz und Magnus-Levy gefunden, sondern

1) C. Speck, Archiv. f. exper. Path. u. Pharmak., 2, 405 (1874).
2) v. Mering u. Zuntz, Pflügers Arch., 15, 634 (1877); 32, 173 (1883).
3) A. Magnus-Levy, Pflügers Arch., 55,1 (1894).
4) C. Voit, Zeitschr. f. Biol., 14, 145 (1878).
5) M. Rubner, Zeitschr. f. Biol., 19, S. 330 (1883).
6) M. Rubner, Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung. Leipzig u. Wien, 1902.

auch Rubner in zahlreichen Versuchen. Aber anderseits hat Rubner[1]) die merkwürdige Tatsache entdeckt, dafs der Körper bei ausgeschalteter chemischer Wärmeregulation auf jede den Minimalbedarf überschreitende Nahrungszufuhr mit einer Steigerung der Verbrennungen reagiert. Im Gebiete der chemischen Wärmeregulation aber lassen sich Versuche über Teilarbeit des Körpers überhaupt nicht ausführen, da ein partieller Mehrverbrauch in einem Organgebiet durch Einsparen in einem anderen kompensiert wird. Die Arbeit der Verdauungsorgane läfst sich also, das geht aus diesen Ausführungen Rubners hervor, solange sie mit Nahrungszufuhr verknüpft ist, überhaupt nicht messen.

Aber sie konnte vielleicht mefsbar werden, wenn ich die Versuchsanordnung der oben zitierten Arbeit anwandte, d. h. wenn ich den Hund scheinfütterte. Dabei wird nicht die Spur von Nahrung resorbiert, aber infolge der »psychischen Magensaftsekretion« geraten die Verdauungsorgane wenigstens zum Teil in Tätigkeit. Ob der Umsatz hierbei mefsbar sein würde, kam auf den Versuch an.

Die Versuchsanordnung war gegeben. Ich mufste einen Hund scheinfüttern und ihn während der auf die Scheinfütterung folgenden Stunden in den Respirationsapparat setzen, der auf konstanter, 30° übersteigender Temperatur gehalten wurde. Das Tier im Respirationsapparat zu füttern, war unmöglich, da die Kaubewegungen usw. sonst eine unberechenbare Mehrarbeit verursacht hätte. Pawlow hat aber gezeigt, dafs nach Beginn der Fütterung die Magensaftsekretion nicht sofort, sondern erst nach 5—6 Minuten einsetzt, dann aber 40 Minuten und länger fortdauert. Diese Latenzzeit der Magensekretion ermöglicht die Ausführung des Versuchs.

Ich habe die Versuche im hygienischen Institut der Universität Berlin angestellt. Herrn Geheimrat Rubner gestatte ich mir auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die Liebenswürdigkeit, mit der er mir die Mittel seines Insti-

1) M. Rubner, Der Energieverbrauch etc., Leipzig u. Wien, 1902. — M. Rubner, Festschrift der Marburger medizinischen Fakultät zu Ludwigs 50. Doktorjubiläum, S. 33, 1890.

tutes zur Verfügung stellte, und die fortwährende Unterstützung, die er mir bei den Versuchen mit Rat und Tat zuteil werden liefs. Ebenso danke ich Herrn Kollegen Wolpert und Herrn Dr. Nawiasky für vielfache Hilfe. Die Anlegung der Magenfistel bei dem Versuchstier erfolgte in Heidelberg, die Ösophagotomie habe ich in der experimentell-biologischen Abteilung des pathologischen Instituts ausgeführt. Ich danke Herrn Kollegen Bickel herzlichst für Erlaubnis und Unterstützung.

Das Versuchstier war eine kurzhaarige Hündin von 4,5—5 kg Gewicht. Sie trug, wie ich es früher beschrieben habe, eine silberne Magenkanüle am Rücken, die ich von einem dem linken Nephocksomieschnitt entsprechenden Schnitt längs dem Rippenbogen ohne Schwierigkeiten einführen konnte, und durch die sich das Tier leicht füttern liefs. Aufserdem war sie ösophagotomiert und nach Falk die Harnröhrenmündung freigelegt. Die Versuche begannen nach fester Vernarbung der Wunden, am 17. Tage nach der Ösophagotomie.

Ich habe 3stündige Versuchsperioden gewählt, da ich mit Sicherheit voraussetzte, dafs die Wirkungen der Scheinfütterung in 3 Stunden, vermutlich sogar in kürzerer Zeit abgelaufen waren, und da die Ausschläge um so gröfser sein mufsten, je kürzer die Versuchsperiode war. Anderseits empfiehlt sich bei dem Respirationskalorimeter nicht, noch kürzere Perioden anzuwenden, da die Einstellung auf konstante Temperatur bei den gewählten Bedingungen 70—85 Minuten erfordert. Der Hund wurde erst noch reichlich mit Fleisch und Speck gefüttert, dann 48 Stunden hungern gelassen, und es begann nun zunächst eine 5tägige Periode, bei der Hunger und Scheinfütterung verglichen wurden. An jedem Tage kam der Hund zweimal 3 Stunden in das Kalorimeter, das erste Mal nüchtern und unter tunlichster Vermeidung aller aufs Fressen bezüglichen Sinneseindrücke. Das andere Mal erhielt er zwar auch nichts in den Magen, wurde aber zunächst 2½ Minuten scheingefüttert; er erhielt kleingeschnittenes Fleisch vorgeworfen und frafs das gierig 2—3 Minuten lang. Dann bekam er zum Ausspülen Wasser oder dünne Bouillon zu saufen, wurde gut abgeputzt und ins Kalorimeter gesetzt. 4 Minuten

nach Beginn der Scheinfütterung war das Kalorimeter schon verschlossen. Vor und nach jedem der 3 stündigen Versuche wurde das Tier katheterisiert: von einer Ausspülung der Blase sah ich ab, so dafs die Harnmengen nicht völlig genau sind. Mit Rücksicht auf die Erfahrungen bei meinen früheren Versuchen, dafs der unverdünnte Magensaft zu Darmreizungen führen kann, erhielt der Hund unmittelbar vor jedem Versuche 60 ccm sorgfältig auf 38° C erwärmtes Wasser durch die Ösophagusfistel in den Magen, um alles gleich zu machen, sowohl bei den Hunger- wie bei den Scheinfütterungsversuchen. Nach Beendigung jedes Versuchs spülte ich den Magen mit warmem Wasser aus, um etwaige Magensekrete zu beseitigen.

Tatsächlich fand sich in einigen der Scheinfütterungsexperimente eine zwar unbedeutende Menge, vielleicht 2—3 ccm einer klaren sauren Flüssigkeit im Magen oder wohl richtiger in dem hohlen Raum der Kanüle. In den anderen Versuchen war der Magen leer. Um einen etwaigen Einflufs der Tageszeit auszuschliefsen, machte ich am 1., 2. und 5. Tage (30., 31. Januar, 3. Februar) den Hungerversuch vor-, den Scheinfütterungsversuch nachmittags, am 3. und 4. Tage (1., 2. Februar) umgekehrt.

Die Lüftung des Kalorimeterraumes betrug für die 3 Stunden durchschnittlich 4,6 cbm. also etwas über 1,5 cbm pro Stunde. Rubner[1]) hat bei einem gleichgrofsen Hunde etwa 1,9 cbm Luft durch den Apparat laufen lassen. Die zur Analyse bestimmten 4 Teilströme (2 für den Ein-, 2 für den Ausstrom) betrugen je ca. 15 l.

Geeicht habe ich das Kalorimeter, indem ich eine kleine Glühlampe 2 Stunden darin brennen liefs und ein Amperometer und Voltmeter in den Stromkreis einschaltete.

Ich gebe das Protokoll des letzten Versuchs der Reihe, bei dem bequeme barometrische Verhältnisse vorliegen, in extenso.

Vormittags, Hunger.

Grofse Gasuhr zeigt den Durchgang von 4529 l, die zwei Teilströme des Einstromes sind 13,4 und 14,5 l, des Ausstromes 15,2 und 15,2 l. Da der Raum des Kalorimeters 83 l fafst, so ist die Gesamtventilation 4642 l.

1) M. Rubner, Energieverbrauch etc., S. 321.

Einströme 1,37 und 1,41 ‰ = 1,39 ‰ CO_2
Ausströme 3,47 » 3,49 » = 3,48 » »
Produktion daher 2,09 ‰ CO_2,

das sind 9,702 g CO_2.

Einstrom (nur 1 ist zu verwerten) = 4,03 ‰ Wasser
Ausstrom 8,16 und 8,16 ‰ . . . . = 8,16 » »
Produktion daher 4,13 ‰ Wasser,

das sind 19,17 g Wasser.

Harn 14 ccm mit 0,132 g Stickstoff (nach Kjeldahl). Das Wasser des Kalorimetermantels ist dauernd auf 31,8° C reguliert.

	Temperatur der einströmenden Luft	Temperatur der ausströmenden Luft
9^{6}	27,3°	29,3°
9^{26}	28,4°	31,2°
9^{49}	28,5°	32,0°
10^{6}	28,6°	32,2°
10^{19}	28,8°	32,7°
10^{36}	29,0°	32,8°
10^{52}	29,1°	33,0°
11^{27}	29,3°	33,0°
11^{52}	29,3°	33,0°
12^{4}	29,3°	33,0°

Nachmittags Scheinfütterung.

Grofse Gasuhr zeigt den Durchgang von 4528 l, die Teilströme betragen beim Einstrom 14,0 und 14,7, beim Ausstrom 15,4 und 15,1 l. Gesamtventilation daher 4642 l.

Einströme 1,40 und 1,39 ‰ CO_2 = 1,4 ‰ CO_2
Ausströme 3,59 » 3,63 » » = 3,61 » »
Produktion daher 2,21 ‰ CO_2,

das sind 10,259 g CO_2.

Einstrom . . . . = 4,08 ‰ Wasser
Ausströme 10,0 und 10,0 ‰ . = 10,00 » »
Produktion daher 5,92 ‰ Wasser,

das sind 27,48 g Wasser.

Harn 12 ccm mit 0,137 g Stickstoff.

	Temperatur der einströmenden Luft	Temperatur der ausströmenden Luft
1^{36}	28,6°	31,1°
2^{1}	29,1°	32,5°
2^{25}	29,2°	33,0°
2^{40}	29,2°	33,0°
2^{55}	29,2°	33,0°
3^{10}	29,2°	33,0°
3^{25}	29,2°	33,0°
3^{40}	29,2°	33,0°
3^{55}	29,2°	33,0°

Die Volumeter des Apparates zeichneten folgende Kurven, von denen die obere die des Versuchsraumes, die untere die des raumes anzeigt, der nur die Barometerschwankungen registriert.

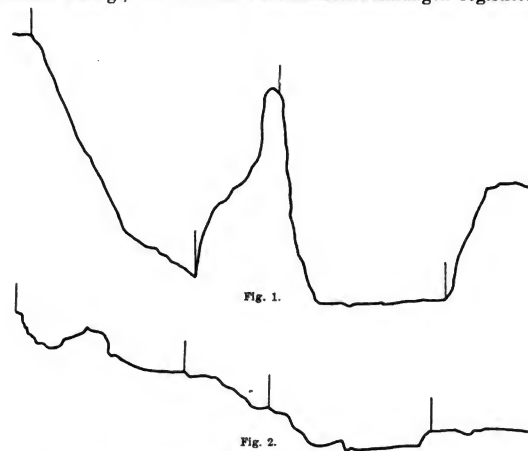


Fig. 1.

Fig. 2.

Bei deren Planimetrierung und im Vergleich mit der Eichung ergeben sich für den Vormittagsversuch 25,3, für den Nachmittagsversuch 30 Kalorien Abgabe an das Kalorimeter. Berücksichtigt man nur den ersten steilen Abfall bis zur zeitlich entsprechenden Stelle, so berechnen sich für den Vormittagsversuch 7, für den Nachmittagsversuch 10,3 Kalorien.

Die Resultate der 1. Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle I.

Datum	Hunger			Scheinfütterung		
	g CO_2	g H_2O	g N	g CO_2	g H_2O	g N
30. I.	12,690	35,82	0,125	13,744	41,49	0,172
31. I.	12,218	27,81	0,127	12,305	30,49	0,144
1. II.	10,672	29,53	0,136	12,831	37,40	0,132
2. II.	10,296	27,34	0,200	11,362	27,14	0,211
3. II.	9,702	19,17	0,132	10,259	27,48	0,137
Durchschnitt	**11,116**	**27,93**	**0,144**	**12,100**	**32,80**	**0,159**

Die planimetrische Messung der Kalorimeterkurven war am 30. I. und 1. II. infolge versehentlicher Behandlung des Volumeters unmöglich.

An den 3 anderen Tagen ergab sie:

	Hunger	Scheinfütterung
31. I.	27 Kal.	30 Kal.
2. II.	20 »	23 »
3. II.	25 »	30 »

Was nun die Verwertbarkeit der mitgeteilten Zahlen anlangt, so ist die Exaktheit der Kohlensäurezahlen ja bei der Voit-Pettenkoferschen Methodik über allen Zweifel erhaben. Die einzige aufzuwerfende Frage ist die, ob nicht Muskelbewegungen des Tieres die Versuche kompliziert haben. Zu sehen ist das Tier in dem Kalorimeter kaum, zu hören war Kratzen und Unruhe des Hundes nur in dem vormittäglichen Hungerversuch des 2. Tages (31. I.). Wichtiger ist, dafs sich an den Kalorimeterkurven nirgends Zacken sehen lassen, die der nur vom Barometer abhängige Kontrollraum nicht auch zeigt. Rubner aber hat derartige Schwankungen bei nicht an das Kalorimeter gewöhnten Tieren regelmäfsig beobachtet, wenn sie sich bewegten. Meinen Versuchshund hatte ich vorher an das Kalorimeter gewöhnt. In entscheidender Weise spricht gegen eine Störung durch Muskelbewegungen vor allem aber eine Vergleichung der Zahlen. Während der 5 Hungertage mufste der Körperbestand des Hundes langsam sinken, und ganz entsprechend nahmen die Kohlensäurewerte in beiden Reihen gleichmäfsig ab. Ordnet man die Hunger- und die Scheinfütterungszahlen für sich in zwei Reihen, so sieht man in beiden ein geradliniges Absinken; nur ein Wert fällt in jeder Reihe heraus, und liegt höher, der Hungerwert des 2. Tages, bei dem die Bewegungen des Hundes direkt zu hören waren, und der Scheinfütterungswert des 3. Tages, bei dem leider gerade das Volumeter eine Störung zeigte. Ich glaube, dafs dieses Verhalten der Zahlen ihre Gesetzmäfsigkeit direkt erweist. Da auf jeder Seite ein Wert um ein Geringes zu hoch liegt, so ist es auch gestattet, den Durchschnitt zu nehmen. Die Kohlensäure-

zahlen sind also für die Berechnung der Verdauungsarbeit brauchbar.

Weniger sicher sind die Wasserzahlen. Denn der Hund war ja ösophagotomiert, und die Möglichkeit während der Versuche jederzeit gegeben, dafs Speichel herausflofs. Kleine Mengen Speichels habe ich denn auch einige Male im Kalorimeter gesehen; ein oder zweimaliges Schlucken in den 3 Stunden aber würde genügen, um die gröfsten Abweichungen zu bedingen. Die Wasserzahlen sind demnach nur in dem Sinne zu verwerten, dafs die Ausschläge in 4 Versuchen unter 5 in gleicher Richtung und ungefähr gleicher Gröfse liegen wie die der Kohlensäure.

Die Unsicherheit der Wasserzahlen aber bedingt auch die Unzuverlässigkeit der direkten Kalorimetrie. Denn bei der minimalen Temperaturdifferenz zwischen der Luft des Kalorimeterraumes und dem Tierkörper, und bei der Wärme und Trockenheit der einströmenden Luft (27,3—29,3° C und etwa 10—16 % Sättigung mit Wasser) erfolgt die Wärmeabgabe auch in Muskelruhe zu einem Drittel und mehr durch Wasserverdampfung. Die oben angeführten Zahlen der direkten Kalorimetrie lassen sich also auch nur insofern verwerten, als auch hier wieder die Ausschläge alle drei in der gleichen Richtung liegen, und die gleiche Gröfsenanordnung zeigen wie die der Kohlensäure. Auch läfst sich an der einen abgebildeten und einer anderen Kurve der steilere Anstieg der Wärmeproduktion bei der Scheinfütterung sehen und messen.

Die Stickstoffzahlen sind nicht auf Milligramme genau, da die Blase nicht ausgespült wurde, sie genügen aber, um zu zeigen, dafs zwischen Hunger und Scheinfütterung kein Unterschied besteht, der über die Fehlergrenzen herausgeht, und sie gestatten, das im Körper verzehrte Eiweifs mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen. Damit aber und mit den Kohlensäurezahlen ist ja im Hungerzustande, in dem nur Eiweifs und Fett, kein Glykogen, verbrannt werden, die Aufstellung einer vollständigen Energiebilanz, die »indirekte Kalorimetrie«, möglich.

Ehe ich diese Berechnung ausführe, will ich die 2. Versuchsreihe besprechen.

Nach Beendigung des letzten Versuches bekam der Hund am 3. und 4. Februar sehr grofse Mengen Fleisch, Speck und Rohrzucker eingestopft, hungerte am 5. und 6. Februar, und am 7. begann die 2. Reihe.

Hier standen sich in 3 Doppelversuchen Scheinfütterung und wirkliche Fütterung gegenüber. Der Hund wurde an 2 Tagen morgens scheingefüttert, und kam dann 3 Stunden ins Kalorimeter. Nachmittags aber bekam er vor Beginn der Scheinfütterung 50 g frisches feingehacktes Fleisch in die Kanüle gestopft. Dann folgte ein Tag, an dem der Hund scheingefüttert wurde und 5 Stunden in das Kalorimeter kam und ein 4. Tag, an dem er wieder aufser der Scheinfütterung 50 g Fleisch wirklich erhielt, und 5 Stunden im Kalorimeter safs.

50 g Fleisch habe ich gewählt, da ich nach den Versuchen von Tobler[1]) sicher war, dafs diese in 3 Stunden verdaut sein mufsten. In der Tat war am Ende der Fütterungsversuche der Magen leer oder enthielt nur ganz unbedeutende Reste aus dem toten Raum an der Kanüle. Die Versuchsanordnung war sonst ganz die gleiche. Vor der Scheinfütterung und bei den Fleischversuchen nach der Einfüllung des Fleisches erhielt der Hund je 60 ccm Wasser von 38° durch die Ösophagusfistel in den Magen.

Die Resultate gibt Tabelle II. Bei dem 3. Doppelversuche stehen unter den für 5 Stunden gefundenen Zahlen die daraus für 3 Stunden berechneten, die für die Durchschnittsrechnung benutzt sind.

Tabelle II.

Datum	Scheinfütterung			Wirkliche Fütterung		
	g CO_2	g H_2O	g N	g CO_2	g H_2O	g N
7. II.	11,722	36,04	0,061	12,023	33,83	0,295
8. II.	10,926	38,76	0,145	11,458	33,21	0,331
9./10. II.	17,507	34,61	0,221	17,678	37,66	0,412
Auf 3 Stunden berechnet .	10,503	20,77	0,132	10,607	22,60	0,247
Durchschnitt	11,05	31,86	0,113	11,363	29,88	0,291

1) L. Tobler, Zeitschr. f. physiol. Chemie, 45, 185 (1905).

In bezug auf die Verwertbarkeit der Zahlen gilt das von der 1. Reihe Gesagte. Ganz sicher die Kohlensäurezahlen, hinreichend sicher die für den Stickstoff. Die für Wasser sind ungenau, die für die direkte Kalorimetrie nicht brauchbar. Es folgte nach 2 Tagen reichlichen Stopfens und 2 Hungertagen die 3. Reihe, die leider mifsglückte. Ich wollte die »chemische« Wirkung des Fleisches auf den Magen und etwa sonst vorhandene spezielle Wirkungen des Fleisches ausschliefsen, und stellte gegenüber Scheinfütterung eine Fütterung mit reinem Kasein. Das verwendete Präparat war indessen wohl chemisch rein, aber nicht indifferent; das Kasein blieb zum grofsen Teil im Magen liegen, der Hund erbrach und wurde unruhig. Mit den Zahlen ist nichts zu machen. Nach Beendigung dieser 3. Reihe wurde der Hund wie nach den zwei ersten mit Fleisch, Speck und Rohrzucker überreichlich gestopft. Er zeigte sehr guten Appetit und anscheinend volles Wohlbefinden, wurde aber nach 4 Tagen morgens tot gefunden. Die Sektion ergab massenhafte punktförmige kleine Hämorrhagien im Dünndarm, vereinzelte ebensolche im Magen, sonst in allen Organen normalen Befund. Ob die übermäfsige Stopfung, das Kasein oder was sonst die Ursache des Todes war, weifs ich nicht. Die Resultate der ersten 2 Reihen aber, die 21 Tage vor dem plötzlichen Tode des Tieres zu Ende waren, können bei dem bis kurz vor dem Tode vollständigen Wohlbefinden und der Frefslust des Tieres bestimmt nicht als pathologisch betrachtet werden.

Weitere Berechnung der Resultate.

Da das Tier sich im Hungerzustande befand, also keine irgend erheblichen Quantitäten Glykozen umsetzen konnte, läfst sich aus den oben angeführten Zahlen auch ohne weitere Kenntnis des Sauerstoffverbrauchs eine exakte Stoffwechselgleichung aufstellen. Während der 1. Reihe befand sich das Tier 7 Tage lang im Hungerzustande, konnte also nur Eiweifs und Fett umsetzen.

Aus dem Stickstoff des Harns berechnet sich:

1. nach Rubners Quotienten (C : N = 0,7) der Kohlenstoff des Harns;

2. nach den von Rubner[1]) gegebenen Zahlen:
   a) die auf das Eiweifs entfallende Menge Kohlenstoff (N : C = 1 : 3,28),
   b) die auf das verbrennende Eiweifs entfallende Kalorienmenge (1 g N = 25 Kal.).

Zieht man den Kohlenstoff des Eiweifses von dem Gesamtkohlenstoff des Harns und der Atemluft ab, so erhält man die Menge Kohlenstoff des verbrannten Fettes, wofür dann Rubner den Wert gibt:

1 g C in Fett = 12,31 Kal.

Geradeso gestaltet sich die Rechnung für die Scheinfütterungsversuche der zweiten Reihe, die ja auch im Hungerzustande vorgenommen sind. Bei den Fleischfütterungsversuchen dieser Reihe sind etwas andere Zahlen zu benutzen. Bei Fleischfütterung hat Rubner im Harn den Quotienten C : N = 0,5 gefunden, und für 1 g N = 26 Kal., die auf Eiweifsverbrennung fallen. Hierbei bestehen zwei Unsicherheiten. Einmal werden Kohlenstoff und Stickstoff des Eiweifses ja verschieden schnell ausgeschieden; es ist also nicht sicher, ob das dem Stickstoff entsprechende Quantum Eiweifs in den 3 bzw. 5 Versuchsstunden schon vollständig verbrannt worden ist. Zweitens ist es bei der zweiten Reihe nicht absolut sicher, dafs die Wirkungen der freilich sehr kleinen Fleischaufnahme (50 g) am nächsten Morgen schon abgelaufen waren. Die durch beides bedingten Fehler können nur minimal sein, sollen aber erwähnt werden.

Ich wiederhole zunächst die Kohlensäurewerte, gleichzeitig mit Angaben der Differenzen, und die Stickstoffwerte.

Reihe 1.

	Hunger:	Scheinfütterung:	
30. I.	12,690 g CO_2	13,744 g CO_2	+ 8,3 %
31. I.	12,218 » »	12,305 » »	» 0,7 »
1. II.	10,672 » »	12,831 » »	» 20,0 »
2. II.	10,296 » »	11,362 » »	» 10,3 »
3. II.	9,702 » »	10,259 » »	» 5,8 »
Durchschnitt	11,116 g CO_2	12,100 g CO_2	+ 9 %

1) M. Rubner, Zeitschr. f. Biol., 19, 330 (1883).

Reihe 2.

	Scheinfütterung:	Wirkliche Fütterung:
7. II.	11,722 g CO_2	12,023 g CO_2 + 2,5 %
8. II.	10,926 » »	11,458 » » » 4,9 »
9./10. II.	17,507 » »	17,678 » » » 1 »
	(10,503) » »	(10,607) » »
Durchschnitt	11,05 g CO_2	11,363 g CO_2 + 2,8 %

Tabelle I.

	Hunger:	Scheinfütterung:
30. I.	0,125 g N	0,172 g N
31. I.	0,127 » »	0,144 » »
1. II.	0,136 » »	0,132 » »
2. II.	0,200 » »	0,211 » »
3. II.	0,132 » »	0,137 » »

Tabelle II.

	Scheinfütterung:	Wirkliche Fütterung:
7. II.	0,061 g N	0,295 g N
8. II.	0,145 » »	0,331 » »
9./10. II.	0,221 » »	0,412 » »
	(0,132) » »	(0,247) » »

Daraus läfst sich nun weiterhin berechnen:

Reihe I.

	Hunger:		Scheinfütterung:	
30. I.	3,549 g C,	davon 3,139 g in Fett	3,868 g C,	davon 3,304 g in Fett
31. I.	3,439 » »	» 3,022 » » »	3,454 » »	» 2,982 » » »
1. II	3,006 » »	» 2,560 » » »	3,592 » »	» 3,159 » » »
2. II.	2,948 » »	» 2,292 » » »	3,247 » »	» 2,555 » » »
3. II.	2,738 » »	» 2,305 » » »	2,893 » »	» 2,444 » » »

Reihe II.

	Scheinfütterung:		Wirkliche Fütterung:	
7. II.	3,240 g C,	davon 3,040 g in Fett	3,427 g C,	davon 2,579 g in Fett
8. II.	3,083 » »	» 2,607 » » »	3,291 » »	» 2,206 » » »
9./10.[1]) II.	2,957 » »	» 2,524 » » »	3,017 » »	» 2,207 » » »

1) auf 3 Stunden berechnet.

Aus diesen Zahlen und den Zahlen für Stickstoff berechnet sich dann der Energieumsatz des Hundeorganismus, wie folgt.

Datum	Hunger			Scheinfütterung		
	Kalorien aus			Kalorien aus		
	Eiweifs	Fett	Summe	Eiweifs	Fett	Summe
30. I.	3,1	38,6	41,7	4,3	40,6	44,9
31. I.	3,2	37,2	40,4	3,6	36,7	40,3
1. II.	3,4	31,5	34,9	3,3	38,9	42,2
2. II.	5,0	28,2	33,2	5,3	31,4	36,7
3. II.	3,3	28,4	31,7	3,4	30,1	33,5
Durchschnitt	3,6	32,8	36,4	4,0	35,5	39,5

Datum	Scheinfütterung			Wirkliche Fütterung		
	Kalorien aus			Kalorien aus		
	Eiweifs	Fett	Summe	Eiweifs	Fett	Summe
7. II.	1,5	37,4	38,9	7,7	30,3	38,0
8. II.	3,6	32,1	35,7	8,6	27,1	35,7
9./10. II. (berechnet auf 3 Stunden)	3,3	31,0	34,3	6,4	27,1	33,5
Durchschnitt			36,3			35,7

Diskussion der Resultate.

Die letzte Tabelle zeigt das gleiche Resultat wie die Kohlensäurezahlen, auf die sie sich aufbaut, nur eindringlicher. Bei den Scheinfütterungsversuchen ist der Umsatz im Körper regelmäfsig ein höherer als bei reinem Hunger, zwischen Scheinfütterung und wirklicher Fütterung läfst sich kein Unterschied erkennen. Dafs die zu hohen Werte des zweiten Hunger- und des dritten Scheinfütterungsversuches sich gegenseitig kompensieren, ist oben ausgeführt, es ist also zulässig, mit den Durchschnittswerten zu rechnen.

Im Eiweifsumsatz dagegen besteht keine die Fehlergrenzen mit Sicherheit überschreitende Vermehrung. Denn der Unterschied von 0,4 Kalorien ist ja minimal und gründet sich noch

dazu ausschliefslich auf die Stickstoffausscheidung eines Versuches (Nachmittag des 30. I.). Da die Blase nur entleert, nicht ausgespült wurde, läfst sich damit keine Steigerung beweisen.

Es hat sich also zunächst eine Bestätigung des früher Festgestellten ergeben, dafs die Arbeit der Verdauung kein Eiweifs erfordert. Es hat sich aber weiter ergeben, dafs sie mindestens 3,1 Kalorien oder 0,35 g Fett erfordert.

Denn ich glaube in der Tat, diese Differenz nur auf die Verdauungsarbeit beziehen zu dürfen. Dafs es sich um Gesetzmäfsigkeiten handelt, ist, wie oben ausgeführt, sicher. Der Unterschied zwischen Verdauungsruhe und Verdauungsarbeit aber ist der einzige gesetzmäfsige zwischen beiden Reihen. Nur ein Einwand könnte gegen die Auffassung der Differenzen als Verdauungsarbeit erhoben werden, dafs nämlich unter der Nachwirkung der Fütterung der Gesamttonus der Muskulatur höher gewesen ist. Das erscheint mir nicht wahrscheinlich. An jedem Tiere kann man sich überzeugen, dafs Fütterung den Tonus herabsetzt, und Kinderärzte und physiologisch geschulte Väter haben die Tonussenkung nach der Nahrungsaufnahme auch beim menschlichen Säugling oft gesehen. Diese Tonussenkung erfolgt auch so schnell, dafs sie gewifs nicht auf der Resorption, sondern auf den mit der Nahrungsaufnahme verknüpften Vorgängen beruhen mufs.

In meiner früheren Versuchsreihe, in der ich das Tier frei im Käfig beobachten konnte, habe ich von einer Unruhe oder Störung nie etwas gesehen. Exakt widerlegen läfst sich durch all' dies freilich der Einwand nicht, dafs nicht die Arbeit der Verdauung selbst die Produktionssteigerung bewirkt, sondern irgend etwas, das regelmäfsig Hand in Hand mit ihr geht, aber in anderen Organen, etwa den Muskeln abläuft. Aber wahrscheinlich erscheint mir eine solche Deutung nicht. Selbst wenn die Steigerung in Muskelspannungen ihre Ursache haben sollte, so mufs man aus den mitgeteilten Zahlen jedenfalls das folgern, dafs sie gesetzmäfsig mit der Nahrungsaufnahme verknüpft ist, und nur auf das, was im Körper als Wirkung der Verdauung, nicht als

Wirkung der Stoffzufuhr geschieht, kommt es für viele physiologische Probleme an. Bei der Frage z. B., die mich an diese Versuche herangeführt hat, nach dem nächsten Schicksal des resorbierten Eiweifses, würde ich mich unter allen Umständen für berechtigt erachten, die von mir gefundenen Zahlen auf die Verdauung, nicht auf die Stoffzufuhr zu beziehen.

Es frägt sich dann, wie weit man von dem Geschehen bei der Scheinfütterung auf das bei der natürlichen Verdauung schliefsen darf. Die Sekretion der Speicheldrüsen erfolgte noch aufserhalb des Apparates, wird also nicht gemessen. Höchstens könnte der Arbeitsaufwand in Betracht kommen, der zur Ausgleichung der Sekretion, zu dem histologisch wohlbekannten Wiederaufbau der Drüsenzelle erforderlich ist. Die Sekretion des Magens ist dagegen so lebhaft wie bei allen Nahrungsmitteln, die keinen »chemischen« nur psychischen Reiz hervorrufen, also bei allen Nahrungsmitteln mit Ausnahme derer, die Fleischextrakt enthalten.[1]) Sie ist schwächer als sie beim Hunde bei Fleischgenufs sein würde, doch fällt die Hauptarbeit der Drüsen in die erste, von der Scheinfütterung abhängige Zeit. Das Pankreas und die Drüsen des Darms werden mindestens ebenso wie bei der wirklichen Fütterung erregt, da die Salzsäure des Magens ja nicht wie in der Norm zum Teil neutolisiert wird, sondern vollkommen wirkt. Ein Rücktreten von Pankreas- und Darmsaft in den Magen, das nach Boldireff[1]) möglich ist, habe ich nicht beobachtet, ohne es ausschliefsen zu können. Ob Galle sezerniert wird, ist ungewifs. Magensaft von normaler Konzentration ist nach Pawlow kein Reiz für die Gallensekretion; doch behaupten andere eine Sekretion auf Säurereiz und eine Sekretion auf abnorm hohen Säuregehalt ist auch nach Pawlow und Boldireff möglich. Resorptionsarbeit leistet der Dünndarm in einer Intensität, die der normalen Verdauung nahe kommt. Denn die in dem Verdauungskanal befindliche Flüssigkeit besteht ja zum weitaus gröfsten Teil aus

---

1) J. P. Pawlow, Arbeit der Verdauungsdrüsen. Wiesbaden, 1898.

2) W. Boldireff, Centralbl. f. Physiol., 19, 1905.

den Verdauungssäften, und die Flüssigkeits-, nicht die Stoffresorption stellt die eigentliche Aufsaugungsarbeit für die Epithelien dar.[1] Was die Muskulatur anlangt, so dürfte die Tätigkeit der Magenausgangsmuskulatur der bei der normalen Verdauung etwa gleichgesetzt werden, da sie von dem Säuregehalt abhängt. Die Fundusmuskeln arbeiten vermutlich viel schwächer. Über die Muskulatur des Darmes läfst sich Sicheres nicht sagen, da der Reiz für die Pendelbewegungen unbekannt ist und die Peristaltik hier ebensowenig eine Rolle spielt, wie bei zellulosefreier Ernährung des Hundes auch sonst. Zu berücksichtigen ist, dafs nach Pawlow und Boldireff die Verdauungsorgane auch bei Hunger nicht untätig sind, sondern periodisch sich bewegen und secernieren. Indessen ist diese Tätigkeit quantitativ nicht bedeutend.

Im grofsen und ganzen glaube ich sagen zu dürfen: die Arbeit bei Scheinfütterung ist selbstverständlich kleiner als die bei der wirklichen Fütterung, und etwaige Ausschläge stellen ein Minimum dar. Doch dürfte sie jedenfalls der Gröfsenanordnung nach mit ihr vergleichbar sein.

Die Differenz zwischen Hunger und Scheinfütterung, die ich auf die Verdauungsarbeit beziehe, beträgt also bei meinem Versuchstier im Durchschnitt 0,984 g Kohlensäure, 0,35 g Fett oder 3,3 Kalorien. Auf den minimalsten Stoffwechsel bei Ruhe im warmen Raume bezogen, bedeutet das eine Steigerung von 9%. Berechnet man es aber auf die Tagesproduktion unter natürlichen Verhältnissen, so beträgt der Unterschied kaum mehr als 1%. Rubner hat also nach diesem Ergebnis vollständig recht, wenn er den kalorischen Wert der Verdauungsarbeit im Vergleich zu den sonstigen Umsetzungen im Tierkörper vernachlässigen zu dürfen erklärt.

Anderseits steht der Wert aber auch im Einklange mit den Beobachtungen von Zuntz und v. Mering und von Magnus-Levy, die im Stadium der Verdauung eine vorübergehende

---

1) O. Cohnheim, Zeitschr. f. Biol., 38, 419 (1899).

Steigerung des Gaswechsels um etwa 10—30% regelmäfsig gesehen haben. Wie oben schon ausgeführt, läfst sich auch aus meinen Versuchen eine stärkere prozentuale Steigerung in der 1. Stunde wahrscheinlich machen. Rubner führt die Steigerung des Stoff- und Kraftwechsels nach der Nahrungszufuhr zum grofsen Teile nicht auf die Verdauungsarbeit zurück, sondern auf eine Steigerung der Umsetzungen im Gesamtorganismus. Die Vermehrung, die er zumal bei Eiweifsfütterung beobachtet hat, ist ja auch bei hoher Aufsentemperatur eine so mächtige, dafs sie mit der kleinen Vermehrung in meinen Versuchen nicht verglichen werden kann. Ein Beweis mehr dafür, dafs diese Vermehrung nicht in der Verdauungsarbeit begründet sein kann, sondern in irgend etwas, das mit den geheimnisvollen Vorgängen im Innern der Zellen zusammenhängt.

Anderseits glaube ich gezeigt zu haben, dafs auch die Arbeit der Verdauungsorgane an der Stoffwechselsteigerung nach Nahrungszufuhr beteiligt ist, und dafs sie eine mefsbare Gröfse darstellt.

Das Resultat läfst sich zusammenfassen:

1. Bei der Scheinfütterung zeigt das Tier eine Energieproduktion, die um 3,3 Kalorien = 0,98 g CO_2 = 0,35 g Fett höher liegt als bei Hunger. Diese Differenz ist auf die Arbeit der Verdauungsorgane zu beziehen.

2. Trotz dieser Steigerung dei esamtproduktion ist die Stickstoffausscheidung nicht vermehrt. Die Arbeit der Verdauungsorgane erfolgt also wie die der Muskeln auf Kosten von stickstofffreiem Material.

ARCHIV FÜR HYGIENE.

(BEGRÜNDET VON MAX v. PETTENKOFER.)

UNTER MITWIRKUNG

VON

Prof. Dr. O. BOLLINGER, München; Prof. Dr. BONHOFF, Marburg a. L.; Prof. Dr. R. EMMERICH, München; Prof. Dr. F. ERISMANN, Zürich; Prof. Dr. HEIM, Erlangen; Prof. Dr. F. HUEPPE, Prag; Prof. Dr. KABRHEL, Prag; Prof. Dr. F. KRATSCHMER, Wien; Prof. Dr. K. LEHMANN, Würzburg; Prof. Dr. A. LODE, Innsbruck; Prof. Dr. L. PFEIFFER, Rostock; Prof. Dr. W. PRAUSNITZ, Graz; Prof. Dr. F. RENK, Dresden; Prof. Dr. SCHOTTELIUS, Freiburg i. B.; Generaloberarzt Dr. A. SCHUSTER, München; Prof. Dr. WERNICKE, Posen.

HERAUSGEGEBEN

VON

J. FORSTER, M. GRUBER, FR. HOFMANN, M. RUBNER,

O.Ö. PROFESSOREN DER HYGIENE UND DIREKTOREN DER HYGIENISCHEN INSTITUTE AN DEN UNIVERSITÄTEN ZU

STRASSBURG MÜNCHEN LEIPZIG BERLIN.

SIEBENUNDFÜNFZIGSTER BAND. 1. HEFT.

(Mit Tafel I—III.)



MÜNCHEN UND BERLIN.

DRUCK UND VERLAG VON R. OLDENBOURG.

1906.

Inhalt.

In dem nächsten Hefte folgen:

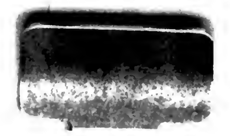
Die Bewertung des Kakaos als Nahrungs- und Genuſsmittel. Experimentelle Versuche am Menschen. Von Dr. med. et phil. R. O. Neumann, Privatdozent an der Universität. I. Teil. Versuche über den Einfluſs der Menge, des Fettgehaltes, des Schalengehaltes des Kakaos und der mit demselben eingeführten Nahrung auf die Resorption und Assimilation desselben. (Mit Tafel I.) (Aus dem Hygienischen Institut der Universität Heidelberg. Direktor: Geh.-Rat Prof. Dr. Knauff.)

Die Bewertung des Kakaos als Nahrungs- und Genuſsmittel. Experimentelle Versuche am Menschen. Von Dr. med. et phil. R. O. Neumann, Privatdozent an der Universität. II. Teil. Versuche mit verschiedenen Kakaohandelssorten. (Mit Tafel II und III.) (Aus dem Hygienischen Institut der Universität Heidelberg. Direktor: Geh. Rat Prof. Dr. Knauff.)

Einsendungen beliebe man an **Geheimrat Professor Dr. Rubner, Berlin N. 4, Hessischestr. 3–4,** *zu richten.*








UNIVERSITY OF CHICAGO
63 377 251